



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE141599

**ANALISA PENINGKATAN PROTEKSI TERHADAP BUSUR API
DI PT. PERTAMINA (PERSERO) *REFINERY UNIT III* PLAJU
MENGUNAKAN METODE ZSI (*ZONE SELECTIVE
INTERLOCKING*)**

Toni Susilo
NRP 2213 105 004

Dosen Pembimbing
Dr.Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. R. Wahyudi

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TE141599

**IMPROVED PROTECTION AGAINST ARC FLASH ANALYSIS
IN PT. PERTAMINA (PERSERO) REFINERY UNIT III PLAJU
USING METHODS ZSI (ZONE SELECTIVE INTERLOCKING)**

Toni Susilo
NRP 2213 105 004

Advisor Lecturer
Dr.Ir. Margo Pujiantara, MT.
Ir. R. Wahyudi

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty Of Industry Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2015

**ANALISA PENINGKATAN PROTEKSI TERHADAP BUSUR API
DI PT.PERTAMINA (PERSERO) REFINERY UNIT III PLAJU
MENGUNAKAN METODE ZSI (ZONE SELECTIVE
INTERLOCKING)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

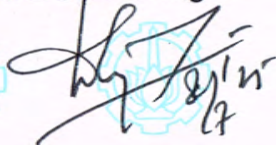
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP. 196603181990101001

Dosen Pembimbing II



Ir. R. Wahyudi
NIP. 195102021976031003

**SURABAYA
JULI, 2015**

ANALISA PENINGKATAN PROTEKSI TERHADAP BUSUR API DI PT.PERTAMINA (PERSERO) REFINERY UNIT III PLAJU MENGGUNAKAN METODE ZSI (*ZONE SELECTIVE INTERLOCKING*)

Nama Mahasiswa : Toni Susilo
NRP : 2213105004
Dosen Pembimbing : 1. Dr.Ir. Margo Pujiantara, MT.
2. Ir. R. Wahyudi
NIP : 1. 1966 03 18 1990 10 1001
2. 1951 02 02 1976 03 1003

ABSTRAK

Arc flash merupakan kejadian berbahaya yang dapat terjadi pada sistem kelistrikan industri. Besarnya nilai insiden energi *arc flash* dipengaruhi oleh lamanya *faut clearing time* (FCT). Berdasar pada standar koordinasi proteksi yang memberikan perbedaan waktu untuk operasi CB, maka hal ini sangat mempengaruhi besarnya nilai insiden energi. Semakin jauh dari beban, maka bahaya yang ditimbulkan akan semakin besar. *Zone Selective Interlocking* (ZSI) adalah sebuah metode pengurangan energi *arc flash* yang efektif dan relatif murah. Fokus dari metode ZSI untuk mempercepat waktu *tripping* pada beberapa kesalahan tanpa mengorbankan koordinasi selektif dan *interjecting* gangguan kedalam sistem. Dengan mampu lebih cepat membuka CB pada kondisi *short-circuit* atau *ground-fault*, tekanan (termal dan mekanik) pada sistem listrik dapat dikurangi. Pada tugas akhir ini metode ZSI diterapkan pada sistem kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU III tegangan 0,4 kV. ZSI mampu mengurangi nilai insiden energi *arc flash* pada bus MCC-6A.1 sebesar 65,77%, bus MCC-6A sebesar 80,08%, bus MCC-29/4.1 sebesar 65,77%, bus MCC-29/4 sebesar 79,95%, dan bus MCC-4 sebesar 68,62%.

Kata Kunci – *arc flash*, koordinasi proteksi, *zone selective interlocking*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**IMPROVED PROTECTION AGAINST ARC FLASH
ANALYSIS IN PT.PERTAMINA (PERSERO)
REFINERY UNIT III PLAJU USING METHODS ZSI
(ZONE SELECTIVE INTERLOCKING)**

Name of Student : Toni Susilo
NRP : 2213105004
Advisor Lecturer : 1. Dr.Ir. Margo Pujiantara, MT.
2. Ir. R. Wahyudi
NIP : 1. 1966 03 18 1990 10 1001
2. 1951 02 02 1976 03 1003

ABSTRACT

Arc flash is a dangerous incident that can occur in industrial electrical systems. The value of arc flash incident energy is influenced by the length of fault clearing time (FCT). Based on the coordination of standards protection that gives time difference for CB operation, then it greatly affects the value of the incident energy. Getting away from the load, then the danger posed will be greater. Zone Selective Interlocking (ZSI) is a method of reducing arc flash energy effective and relatively inexpensive. The focus of ZSI method to speed up tripping on some fault without sacrificing selective coordination and interference interjecting into the system. By being able to more quickly open a CB on the condition of short-circuit or ground-fault, the pressure (thermal and mechanical) on the electrical system can be reduced. In this final project ZSI method applied to the electrical system of the PT. Pertamina (Persero) RU III voltage of 0,4 kV. ZSI was able to reduce the value of arc flash incident energy on the MCC bus-6A.1 amounting 65,77%, MCC bus-6A amounting 80,08%, bus MCC-29 / 4.1 amounting 65,77%, bus MCC-29/4 amounting 79,95%, and the MCC bus -4 amounting 68,62%.

Keyword: *arc flash, protection coordination, zone selective interlocking*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Alhamdulillah dan segala puji syukur hanya tercurah kehadiran alloh SWT yang telah memberikan karunia serta hidayahnya. Sholawat serta salam tetap tercurahkan kepada junjungan dan suri tauladan kita Rosululloh Muhammad SAW yang telah memberikan pencerahan kepada seluruh umatnya di dunia. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan kelulusan tahap sarjana teknik pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama penyelesaian tugas akhir ini, tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan arahan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT dan Bapak Ir. R. Wahyudi selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran serta bimbingannya.
2. Kedua orang tua tercinta, yang selalu memberikan rasa sayang yang tak terhingga, do'a, dan dukungan yang selalu tiada henti.
3. Seluruh keluarga besar Teknik Elektro ITS, para dosen, karyawan, mahasiswa, serta teman-teman atas dukungan, masukan, dan kerjasamanya selama masa kuliah.

Semoga Allah SWT selalu melimpahkan karunia dari segala kebbaikannya dan memberikan balasan yang lebih banyak atas semua kebaikan yang telah diberikan. Dengan penuh kesadaran bahwa dalam penyusunan tugas akhir masih jauh dari harapan dan masih banyak terdapat kekurangan dan kesalahan didalamnya. Oleh karena itu, penulis mohon maaf dan mengharap segala bentuk kritik serta saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak agar analisa ini menjadi lebih baik lagi dimasa yang akan datang. Tiada kebahagiaan yang begitu besar karena semua usaha ini bisa bermanfaat dan tidak meninggalkan kesia-siaan.

Sidoarjo, 1 Juli 2015

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

	HALAMAN
JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Tugas Akhir	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Laporan	3
1.7 Relevansi	4
 BAB 2 PROTEKSI, BUSUR API, DAN ZONE SELECTIVE INTERLOCKING (ZSI)	
2.1 Proteksi Sistem Tenaga Listrik	5
2.1.1 Setting Proteksi Sistem Tenaga Listrik	6
2.2 Busur Api Listrik (<i>Arc Flash</i>)	7
2.3 Energi <i>Arc Flash</i>	9
2.4 <i>Flash Protection Boundary</i>	11
2.5 <i>Personal Protective Equipment (PPE)</i>	13
2.6 <i>Zone Selective Interlocking</i>	15
 BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA (PERSERO) RU III PLAJU	
3.1 Sistem Kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju	19

3.2	Sistem Distribusi Di PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju.....	21
3.3	Jenis Beban Di PT. PERTAMINA (Persero) RU III Plaju.....	23

BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISA

4.1	Permodelan Sistem Kelistrikan.....	25
4.2	Pengaturan Sistem Pengaman Arus Lebih.....	29
4.3	Simulasi Hubung Singkat.....	29
4.4	Simulasi Koordinasi Sistem Pengaman <i>Existing</i>	25
4.4.1	Simulasi Sistem Pengaman Tipikal 1a.....	30
4.4.2	Simulasi Sistem Pengaman Tipikal 1b.....	32
4.4.3	Simulasi Sistem Pengaman Tipikal 2a.....	34
4.4.4	Simulasi Sistem Pengaman Tipikal 2b.....	37
4.4.5	Simulasi Sistem Pengaman Tipikal 3.....	39
4.5	Simulasi Koordinasi Sistem Pengaman <i>Resetting</i>	42
4.5.1	Simulasi Koordinasi Pengaman Resetting-Tipikal 1.....	42
4.5.2	Simulasi Koordinasi Pengaman Resetting-Tipikal 2.....	51
4.5.3	Simulasi Koordinasi Pengaman Resetting-Tipikal 3.....	60
4.6	Simulasi Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i>	64
4.7	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 1.....	64
4.7.1	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 1 Gangguan Pada Motor 2012JA.....	65
4.7.2	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 1 Gangguan Pada Bus MCC-6A.1.....	67
4.7.3	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 1 Gangguan Pada Bus MCC-6A.....	69
4.7.4	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 1 Gangguan Pada Motor 3451KA.....	70
4.7.5	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 1 Nilai Insiden Energi Arc Flash.....	72
4.8	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 2.....	75
4.8.1	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 2 Gangguan Pada Motor WTR908.....	76
4.8.2	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 2 Gangguan Pada Bus MCC-29/4.1.....	78
4.8.3	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 2 Gangguan Pada Bus MCC-29/4.....	79

4.8.4	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 2 Gangguan Pada Motor M-PP12.....	81
4.8.5	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 2 Nilai Insiden Energi Arc Flash	82
4.9	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 3	86
4.9.1	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 3 Gangguan Pada Motor KMPSR2	86
4.9.2	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 3 Gangguan Pada Bus MCC-4.....	88
4.9.3	Implementasi <i>Zone Selective Interlocking</i> Tipikal 3 Nilai Insiden Energi Arc Flash Implementasi ZSI	89
4.10	Perbedaan Nilai Insiden Energi <i>Arc Flash</i> Setelah <i>Reseting</i> Dan Sesudah Implementasi Metode ZSI.....	91

BAB 5 PENUTUP

5.1	Kesimpulan.....	95
5.2	Saran.....	95

DAFTAR PUSTAKA	97
-----------------------------	----

BIODATA PENULIS

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1 <i>Typical Time-Current Curve</i>	7
Gambar 2.2 Ilustrasi <i>Flash Protection Boundary</i>	12
Gambar 2.3 Ilustrasi <i>Personal Protective Equipment</i> (PPE).....	14
Gambar 2.4 Sistem <i>Zone Selective Interlocking</i> (ZSI).....	16
Gambar 2.5 Waktu Sinyal ZSI	17
Gambar 3.1 <i>Single Line Diagram</i> Sistem Kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju Yang Telah Disederhanakan.....	20
Gambar 4.1 <i>Single Line Diagram</i> Sistem Kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju Yang Telah Disederhanakan.....	26
Gambar 4.2 Tipikal 1 MCC-6A.....	27
Gambar 4.3 Tipikal 2 MCC-29/4	28
Gambar 4.4 Tipikal 3 MCC-4	28
Gambar 4.4 Sistem Pengaman Tipikal 1a.....	30
Gambar 4.6 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 1a.....	32
Gambar 4.7 Sistem Pengaman Tipikal 1b	33
Gambar 4.8 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 1b	34
Gambar 4.9 Sistem Pengaman Tipikal 2a.....	35
Gambar 4.10 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 2a.....	37
Gambar 4.11 Sistem Pengaman Tipikal 2b	38
Gambar 4.12 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 2b	39
Gambar 4.13 Sistem Pengaman Tipikal 3	40
Gambar 4.14 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 3	41
Gambar 4.15 Plot Kurva Koordinasi Resetting-Tipikal 1a.....	46
Gambar 4.16 Plot Kurva Koordinasi Resetting-Tipikal 1b	47
Gambar 4.17 Plot Kurva Koordinasi Resetting-Tipikal 2a.....	55
Gambar 4.18 Plot Kurva Koordinasi Resetting-Tipikal 2b	56
Gambar 4.19 Plot Kurva Koordinasi Resetting-Tipikal 3	62
Gambar 4.20 Zona Pengamanan ZSI Tipikal 1	65
Gambar 4.21 Zona Gangguan Pada Motor 2012JA.....	66
Gambar 4.22 Plot Kurva TCC Gangguan Pada Motor 2012JA.....	67
Gambar 4.23 Gangguan Pada Bus MCC-6A.1	68
Gambar 4.24 Plot Kurva TCC Gangguan Pada Bus MCC-6A.1	68
Gambar 4.25 Gangguan Pada Bus MCC-6A.....	69
Gambar 4.26 Plot Kurva TCC Gangguan Pada Bus MCC-6A.1	70

Gambar 4.27 Gangguan Pada Motor 3451KA	71
Gambar 4.28 Plot Kurva TCC Gangguan Pada Motor 3451KA	71
Gambar 4.29 Zona Pengamanan ZSI Tipikal 2	76
Gambar 4.30 Gangguan Pada Motor WTR908	77
Gambar 4.31 Plot Kurva TCC Gangguan Motor WTR908	77
Gambar 4.32 Gangguan Pada Bus MCC-29/4.1	78
Gambar 4.33 Plot Kurva TCC Gangguan Bus MCC-29/4.1	79
Gambar 4.34 Gangguan Pada Bus MCC-29/4	80
Gambar 4.35 Plot Kurva TCC Gangguan Bus MCC-29/4	80
Gambar 4.36 Gangguan Pada Motor M-PP12	81
Gambar 4.37 Plot Kurva TCC Gangguan Motor M-PP12	82
Gambar 4.38 Zona Pengamanan ZSI Tipikal 3	86
Gambar 4.39 Gangguan Pada Motor KMPSR2	87
Gambar 4.40 Plot Kurva TCC Gangguan Motor KMPSR2	87
Gambar 4.41 Gangguan Pada Bus MCC-4	88
Gambar 4.42 Plot Kurva TCC Gangguan Bus MCC-4	89

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2.1 Faktor Untuk Peralatan dan Kelas Tegangan	10
Tabel 2.2 <i>Personal Protective Equipment</i> (PPE)	13
Tabel 3.1. Data pembangkit Di PT. Pertamina (Persero) RU III.....	19
Tabel 3.2. Jumlah Total Pembangkitan,Pembebanan, Dan Demand	21
Tabel 3.3. Data Bus PT. Pertamina (Persero) RU III	22
Tabel 3.4. Data Trafo Daya Di PT. Pertamina (Persero) RU III	23
Tabel 3.5. Data Beban Motor Di PT. Pertamina (Persero) RU III	24
Tabel 4.1. Data <i>Short Circuit</i> Pada MCC 6A.....	29
Tabel 4.2. Data <i>Short Circuit</i> Pada MCC 29/4.....	29
Tabel 4.3. Data <i>Short Circuit</i> Pada MCC 4.....	29
Tabel 4.4. Data <i>Breaker</i> Sistem <i>Existing</i> MCC-6A.....	31
Tabel 4.5. Data <i>Breaker</i> Sistem <i>Existing</i> MCC-29/4	36
Tabel 4.6. Data <i>Breaker</i> Sistem <i>Existing</i> MCC-4	40
Tabel 4.7. Simulasi <i>Arc Flash</i> Kondisi <i>Reseting</i> Tipikal 1	47
Tabel 4.8. Simulasi <i>Arc Flash</i> Kondisi <i>Reseting</i> Tipikal 2.....	56
Tabel 4.9. Simulasi <i>Arc Flash</i> Kondisi <i>Reseting</i> Tipikal 3.....	62
Tabel 4.10 Simulasi <i>Arc Flash</i> Metode ZSITipikal 1	72
Tabel 4.11 Simulasi <i>Arc Flash</i> Kondisi <i>Reseting</i> Tipikal 2.....	82
Tabel 4.12 Simulasi <i>Arc Flash</i> Metode ZSI Tipikal 3.....	89
Tabel 4.13 <i>Existing, Reseting, Dan Implementasi</i> ZSI MCC-6A.....	92
Tabel 4.14 <i>Existing, Reseting Dan Implementasi</i> ZSI MCC-29/4.....	93
Tabel 4.15 <i>Existing, Reseting Dan Implementasi</i> ZSI MCC-4.....	94

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2.1 Faktor Untuk Peralatan dan Kelas Tegangan	10
Tabel 2.2 <i>Personal Protective Equipment</i> (PPE)	13
Tabel 3.1. Data pembangkit Di PT. Pertamina (Persero) RU III.....	19
Tabel 3.2. Jumlah Total Pembangkitan,Pembebanan, Dan Demand	21
Tabel 3.3. Data Bus PT. Pertamina (Persero) RU III	22
Tabel 3.4. Data Trafo Daya Di PT. Pertamina (Persero) RU III	23
Tabel 3.5. Data Beban Motor Di PT. Pertamina (Persero) RU III	24
Tabel 4.1. Data <i>Short Circuit</i> Pada MCC 6A.....	29
Tabel 4.2. Data <i>Short Circuit</i> Pada MCC 29/4.....	29
Tabel 4.3. Data <i>Short Circuit</i> Pada MCC 4.....	29
Tabel 4.4. Data <i>Breaker</i> Sistem <i>Existing</i> MCC-6A.....	31
Tabel 4.5. Data <i>Breaker</i> Sistem <i>Existing</i> MCC-29/4	36
Tabel 4.6. Data <i>Breaker</i> Sistem <i>Existing</i> MCC-4	40
Tabel 4.7. Simulasi <i>Arc Flash</i> Kondisi <i>Reseting</i> Tipikal 1	47
Tabel 4.8. Simulasi <i>Arc Flash</i> Kondisi <i>Reseting</i> Tipikal 2.....	56
Tabel 4.9. Simulasi <i>Arc Flash</i> Kondisi <i>Reseting</i> Tipikal 3.....	62
Tabel 4.10 Simulasi <i>Arc Flash</i> Metode ZSITipikal 1	72
Tabel 4.11 Simulasi <i>Arc Flash</i> Kondisi <i>Reseting</i> Tipikal 2.....	82
Tabel 4.12 Simulasi <i>Arc Flash</i> Metode ZSI Tipikal 3.....	89
Tabel 4.13 <i>Existing</i> , <i>Reseting</i> , Dan Implementasi ZSI MCC-6A.....	92
Tabel 4.14 <i>Existing</i> , <i>Reseting</i> Dan Implementasi ZSI MCC-29/4.....	93
Tabel 4.15 <i>Existing</i> , <i>Reseting</i> Dan Implementasi ZSI MCC-4.....	94

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1 <i>Typical Time-Current Curve</i>	7
Gambar 2.2 Ilustrasi <i>Flash Protection Boundary</i>	12
Gambar 2.3 Ilustrasi <i>Personal Protective Equipment</i> (PPE).....	14
Gambar 2.4 Sistem <i>Zone Selective Interlocking</i> (ZSI)	16
Gambar 2.5 Waktu Sinyal ZSI	17
Gambar 3.1 <i>Single Line Diagram</i> Sistem Kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju Yang Telah Disederhanakan.....	20
Gambar 4.1 <i>Single Line Diagram</i> Sistem Kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju Yang Telah Disederhanakan.....	26
Gambar 4.2 Tipikal 1 MCC-6A.....	27
Gambar 4.3 Tipikal 2 MCC-29/4	28
Gambar 4.4 Tipikal 3 MCC-4	28
Gambar 4.4 Sistem Pengaman Tipikal 1a.....	30
Gambar 4.6 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 1a.....	32
Gambar 4.7 Sistem Pengaman Tipikal 1b	33
Gambar 4.8 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 1b	34
Gambar 4.9 Sistem Pengaman Tipikal 2a.....	35
Gambar 4.10 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 2a.....	37
Gambar 4.11 Sistem Pengaman Tipikal 2b	38
Gambar 4.12 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 2b	39
Gambar 4.13 Sistem Pengaman Tipikal 3	40
Gambar 4.14 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 3	41
Gambar 4.15 Plot Kurva Koordinasi Resetting-Tipikal 1a.....	46
Gambar 4.16 Plot Kurva Koordinasi Resetting-Tipikal 1b	47
Gambar 4.17 Plot Kurva Koordinasi Resetting-Tipikal 2a.....	55
Gambar 4.18 Plot Kurva Koordinasi Resetting-Tipikal 2b	56
Gambar 4.19 Plot Kurva Koordinasi Resetting-Tipikal 3	62
Gambar 4.20 Zona Pengamanan ZSI Tipikal 1	65
Gambar 4.21 Zona Gangguan Pada Motor 2012JA.....	66
Gambar 4.22 Plot Kurva TCC Gangguan Pada Motor 2012JA.....	67
Gambar 4.23 Gangguan Pada Bus MCC-6A.1	68
Gambar 4.24 Plot Kurva TCC Gangguan Pada Bus MCC-6A.1	68
Gambar 4.25 Gangguan Pada Bus MCC-6A.....	69
Gambar 4.26 Plot Kurva TCC Gangguan Pada Bus MCC-6A.1	70

Gambar 4.27 Gangguan Pada Motor 3451KA	71
Gambar 4.28 Plot Kurva TCC Gangguan Pada Motor 3451KA	71
Gambar 4.29 Zona Pengamanan ZSI Tipikal 2	76
Gambar 4.30 Gangguan Pada Motor WTR908	77
Gambar 4.31 Plot Kurva TCC Gangguan Motor WTR908	77
Gambar 4.32 Gangguan Pada Bus MCC-29/4.1	78
Gambar 4.33 Plot Kurva TCC Gangguan Bus MCC-29/4.1	79
Gambar 4.34 Gangguan Pada Bus MCC-29/4	80
Gambar 4.35 Plot Kurva TCC Gangguan Bus MCC-29/4	80
Gambar 4.36 Gangguan Pada Motor M-PP12	81
Gambar 4.37 Plot Kurva TCC Gangguan Motor M-PP12	82
Gambar 4.38 Zona Pengamanan ZSI Tipikal 3	86
Gambar 4.39 Gangguan Pada Motor KMPSR2	87
Gambar 4.40 Plot Kurva TCC Gangguan Motor KMPSR2	87
Gambar 4.41 Gangguan Pada Bus MCC-4	88
Gambar 4.42 Plot Kurva TCC Gangguan Bus MCC-4	89

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. PERTAMINA (persero) *Refinery Unit III Plaju* adalah salah satu unit kilang minyak yang dimiliki oleh PT. Pertamina (Persero). Sebagai perusahaan yang bergerak dibidang perminyakan, pengamanan sistem tenaga dan keselamatan pekerja menjadi prioritas utama dalam operasional perusahaan.

Arc flash merupakan kejadian berbahaya yang dapat terjadi didalam sistem kelistrikan industri. Energi yang hilang akibat kejadian ini akan dilepaskan melalui udara dan mengalir ke fasa yang lain, netral atau mengalir ke tanah. Kejadian ini dapat terjadi kapanpun dan sangat membahayakan bagi peralatan maupun pekerja yang ada di area terdampak energi *arc flash*. Energi *arc flash* dapat merusak peralatan-peralatan listrik yang ada didekatnya, bahkan untuk kondisi tertentu energi *arc flash* bisa membunuh pekerja yang bekerja dalam keadaan *online system* [1].

Berdasar pada bahaya *arc flash* yang telah diuraikan diatas, maka didalam sistem tenaga diperlukan teknik untuk meminimalisir energi yang dilepaskan oleh *arc flash*. Sehingga dengan berkurangnya energi yang dilepas maka bahaya yang ditimbulkan dapat direduksi seminimal mungkin. Salah satu teknik yang mampu mereduksi energi dari *arc flash* adalah metode ZSI (*Zone Selective Interlocking*). Metode ini mengacu pada prinsip semakin cepat *arcing fault current* dihilangkan maka semakin kecil energi yang dihasilkan oleh *arc flash*.

Arus *arcing* harus diperhitungkan karena dapat mempengaruhi besarnya *incident energy* dan kategori dari *arc flash*. Besarnya *Incident energy* digunakan untuk menentukan *Personal Protective Equipment* (PPE) bagi pekerja sehingga pekerja dapat terlindungi dari bahaya *arc flash*.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sistem kelistrikan yang digunakan di PT. PERTAMINA (PERSERO) *Refinery Unit III Plaju*.

2. Bagaimana koordinasi pengaman yang terpasang pada sistem kelistrikan PT. PERTAMINA (PERSERO) *Refinery Unit III Plaju*.
3. Katagori berapakah arc flash yang ada di PT. Pertamina (Persero) Refinery Unit III Plaju?
4. Implementasi metode ZSI pada sistem kelistrikan PT. PERTAMINA (PERSERO) *Refinery Unit III Plaju* untuk mereduksi energi yang ditimbulkan oleh *arc flash*.
5. Mengetahui katagori PPE (*Personel Protective Equipment*) / alat keamanan kerja untuk menunjang keselamatan setelah implementasi metode ZSI berdasar pada NFPA 70E 2015.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini meliputi:

1. Analisa *arc flash* meliputi penentuan arus *arcing*, *incident energy* dan *flash-protection boundary*.
2. Analisa *arc flash* hanya dilakukan pada bus dengan level tegangan 0,4 KV.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tugas Akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui hasil simulasi energi *arc flash* pada kondisi *reseting*, dan melakukan perhitungan secara manual dengan standar IEEE 1584-2002 pada sistem kelistrikan PT. PERTAMINA (PERSERO) *Refinery Unit III Plaju*.
2. Menentukan nilai bahaya *arc flash* yang dapat direduksi dengan metode ZSI.
3. Mengetahui katagori Arc Flash setelah direduksi dengan ZSI pada sistem kelistrikan PT. PERTAMINA (PERSERO) *Refinery Unit III Plaju* sehingga dapat ditentukan katagori alat keamanan kerja bagi pekerja.
4. Mengetahui level energi untuk keselamatan pekerja yang berdasarkan NFPA 70E 2015 sehingga bisa menjadi masukan bagi PT. PERTAMINA (PERSERO) *Refinery Unit III Plaju*.

1.5 Metodologi

Penulisan dan penyusunan tugas akhir ini menggunakan metodologi sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data

Pengambilan data dari *single line* diagram berupa spesifikasi peralatan baik itu generator, transformator, CB, dan peralatan lainnya yang ada di dalam sistem kelistrikan PT. PERTAMINA (PERSERO) *Refinery Unit* III Plaju.

2. Studi literatur
Studi literatur ini digunakan untuk memperkuat pemahaman tentang arus hubung singkat, koordinasi proteksi, perhitungan *arc flash* dan metode ZSI (*Zone Selective Interlocking*).
3. Pemodelan dan Simulasi
Setelah mendapatkan data sistem kelistrikan PT. PERTAMINA (PERSERO) *Refinery Unit* III Plaju, data tersebut kemudian diolah dan disimulasikan pada *software* ETAP 7.5 dalam bentuk *single line diagram*. Selanjutnya dilakukan simulasi hubung singkat, koordinasi peralatan pengaman dan *arc-flash*. Simulasi ZSI menggunakan *software* *easypower* 9.7.
4. Analisa Data
Dari simulasi dan pemodelan akan didapatkan karakteristik dan kategori *arc flash* dari sistem kelistrikan, kemudian dilakukan analisa terhadap hasil tersebut.
5. Kesimpulan
Langkah terakhir dalam tugas akhir ini adalah pembuatan kesimpulan dari permasalahan yang telah dianalisa. Selain itu juga diberikan saran atau rekomendasi terkait hal yang telah dianalisa.

1.6 Sistematika Laporan

Penyusunan Tugas Akhir ini disusun menjadi beberapa bab dan diuraikan dengan pembahasan sesuai daftar isi. Berikut adalah sistematika penyusunan laporan:

- BAB 1 : PENDAHULUAN
Pendahuluan menguraikan tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan tugas akhir, sistematika pembahasan, dan relevansi.
- BAB 2 : LANDASAN TEORI
Bab ini membahas teori-teori tentang proteksi, busur api listrik, dan metode ZSI.
- BAB 3 : SISTEM KELISTRIKAN
Bab ini membahas tentang sistem kelistrikan PT. Pertamina (Persero) *Refinery Unit* III Plaju.

- BAB 4 : HASIL SIMULASI DAN ANALISIS
Bab ini menjelaskan mengenai analisa sistem pengaman dan analisa bahaya *arc-flash* pada sistem kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju.
- BAB 5 : PENUTUP
Bab ini berisi kesimpulan dan saran.

1.7 Relevansi

Dari hasil Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui bahaya *arc flash* dan cara mereduksi bahaya *arc-flash*.
2. Dapat menjadi referensi bagi PT. PERTAMINA (PERSERO) *Refinery Unit* III Plaju ketika melakukan perbaikan pada proteksi sistem kelistrikannya dimasa yang akan datang.
3. Dapat digunakan sebagai acuan atau masukan untuk penyelesaian kasus yang sama.

BAB 2

PROTEKSI, BUSUR API, DAN *ZONE SELECTIVE INTERLOCKING (ZSI)*

2.1 Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Pengertian dari proteksi sistem tenaga listrik adalah pengamanan suatu jaringan atau feeder yang bertujuan untuk memberikan perlindungan yang handal pada sistem dan beban dari kerusakan akibat adanya gangguan. Sistem proteksi tenaga listrik dapat melokalisir dampak suatu gangguan pada daerah perlindungannya sehingga peralatan yang lainnya tetap dapat beroperasi tanpa adanya gangguan. Pada sistem tenaga listrik sangat dimungkinkan adanya gangguan yang berakibat pada keadaan yang tidak normal.

Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat disebabkan oleh 2 faktor, yaitu faktor luar dan faktor dalam. Berikut ini adalah penyebab gangguan yang disebabkan faktor luar [1];

- a. Gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain. Gangguan ini terjadi pada sistem kelistrikan bawah tanah.
- b. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surja petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembus isolasi peralatan (*beakdown*).
- c. Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang, dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan dari manusia.

Sedangkan penyebab gangguan dari faktor dalam yaitu [1];

- a. Tegangan dan arus abnormal.
- b. Pemasangan yang kurang baik.
- c. Kesalahan mekanis karena faktor penuaan.
- d. Beban lebih
- e. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat pemutus, atau kabel cacat isolasinya.

Pada sistem tenaga listrik, selain gangguan faktor luar dan faktor dalam tersebut, juga terdapat gangguan langsung yang berupa gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa, 1 fasa, gangguan beban lebih, dan gangguan tegangan lebih. Gangguan bersifat temporer (sesaat) dan bersifat permanen. Pada gangguan temporer, gangguan dapat hilang dengan sendirinya ataupun dengan melepaskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Pada gangguan temporer, apabila gangguan tidak

dapat dihilangkan dengan segera maka gangguan dapat berubah menjadi gangguan permanen. Sedangkan gangguan permanen yaitu gangguan yang bersifat tetap. Gangguan permanen ini diperlukan tindakan langsung untuk menghilangkannya yaitu melakukan perbaikan ataupun menyingkirkan penyebab gangguan tersebut.

2.1.1 Setting Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Merujuk pada standart british BS 142 batas nilai *setting* untuk *long time pickup* (LT pickup) adalah $1,05-1,4 I_{FL}$. Setting ini berfungsi untuk *setting* arus lebih, yang bertujuan agar CB (*circuit breaker*) tidak bekerja pada saat beban maksimum. Setting untuk LT Pickup menggunakan persamaan berikut:

$$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA \quad (2.1)$$

Dimana FLA adalah *full load ampere*.

Pengaman arus lebih instan akan bekerja seketika ketika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang diijinkan. Dalam menentukan *setting short time pickup* (ST pickup) digunakan $I_{sc \min}$ (*short circuit minimum*) yaitu arus hubung singkat 2 fasa. Sehingga *setting* ditetapkan:

$$I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \min} \quad (2.2)$$

Dalam penentuan *setting circuit breaker* untuk motor digunakan persamaan berikut

$$LRC \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \min} \quad (2.3)$$

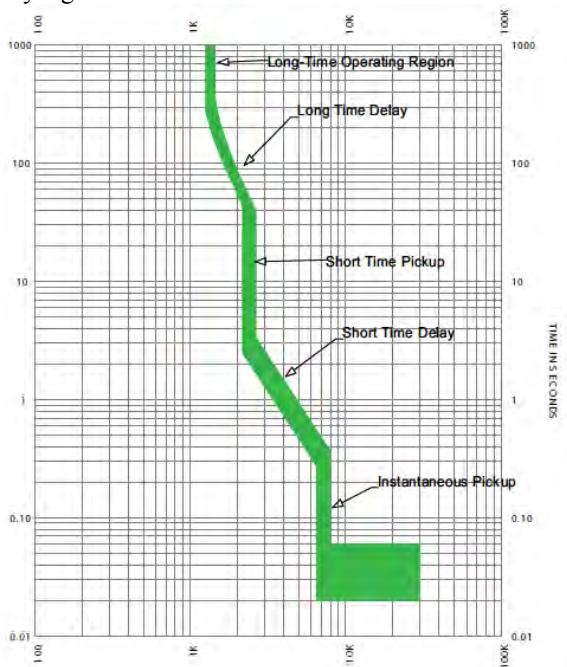
Dimana LRC adalah *locked rotor*

Koordinasi proteksi memiliki tujuan agar *circuit breaker* tidak bekerja secara bersamaan antara pengaman utama dan pengaman *backup*. Maka dalam melakukan koordinasi diperlukan adanya *time delay* antara *circuit breaker* utama dan *circuit breaker backup*. *Time delay* adalah sebagai *setting* kelambatan waktu (Δt) atau *grading time*. Perbedaan waktu kerja minimal antara *circuit breaker* utama dan *circuit breaker backup* adalah 0,3 – 0,4 detik. Berdasar pada standar IEEE 242:

- Waktu buka CB : 0,04 – 0,1 detik (2-5 cycle)
- Overtravel* dari rele : 0,1 detik
- Faktor keamanan : 0,12 – 0,22 detik

Pada pengaman berbasis *microprocessor*, *overtravel time* diabaikan. Sehingga total waktu yang diperlukan adalah 0,2 – 0,3 detik. Perbedaan waktu ini untuk memastikan bahwa gangguan pada sisi bawah telah berhasil dihilangkan, sehingga kemungkinan trip bersamaan dapat dihindari. Gambar 2.1 menunjukkan detail bagian dari *Typical Time-Current Curve*. Terdapat beberapa bagian yaitu *Instantaneous pickup*

adalah level arus pada *circuit breaker* dimana *circuit breaker* akan trip tanpa waktu tunda. *Shorttime delay* adalah lamanya waktu *circuit breaker* akan menahan sebuah *short circuit* sebelum membangkitkan sinyal trip. *Short time pickup* adalah tingkat arus pada *circuit breaker* dengan fungsi delay waktu singkat. *Long time delay* adalah lamanya waktu *circuit breaker* yang akan menahan arus lebih berkelanjutan sebelum membangkitkan sinyal trip. *Long time operating region* adalah wilayah operasional yang lama.



Gambar 2.1 Typical Time-Current Curve [7]

2.2 Busur Api Listrik (*Arc Flash*)

Arc flash didefinisikan sebagai hasil pelepasan energi yang cepat. Pelepasan energi ini terjadi karena adanya *arching fault* diantara bus satu dengan bus yang lainnya, netral, ataupun ground. *Archng fault* merupakan aliran arus listrik yang mengalir pada saluran yang seharusnya tidak teraliri arus. Arus ini menciptakan sebuah plasma busur listrik dan melepaskan sejumlah energi yang membahayakan bagi lingkungan

disekitarnya. Selama terjadi *arching fault*, udara bersifat sebagai konduktor sehingga mampu menyalurkan energi. Sedangkan busur api listrik merupakan bagian dari arus listrik besar yang terionisasi melalui udara sekitar. Energi plasma inilah yang menyebabkan terjadinya *arc flash*, energi ini menimbulkan kerugian fisik yaitu ledakan bola api yang terhempas keluar. Panas yang dihasilkan dari ledakan ini menyebabkan luka bakar yang serius apabila terkena pekerja yang sedang bekerja dalam keadaan *online system*. Selain ledakan, kerugian fisik yang ditimbulkan adalah bunyi dari ledakan itu sendiri yang dapat mengganggu pendengaran pekerja maupun orang yang ada disekitarnya.

Panas yang dihasilkan dari *electric arc* dapat mencapai lebih dari 35000⁰ F atau setara dengan 19400⁰ C. Pada suhu itulah material dapat menguap dan mengembang. *Arc* yang sangat kuat menyebabkan perpindahan udara yang tiba-tiba. Tembaga memuai 67000 kali dari volume aslinya dalam *electric arc*. Fenomena seperti ini menyebabkan ledakan gelombang bertekanan. Konduktor yang meleleh akan menjadi tetesan-tetesan logam cair panas yang berpecah kesegala penjuru arah. *Arc flash* dapat terjadi karena beberapa faktor yaitu:

- a. Debu
- b. Alat yang terjatuh
- c. Menyentuh secara sengaja maupun tidak sengaja
- d. Kondensasi
- e. Kegagalan material
- f. Korosi
- g. Instalasi rusak

Sedangkan tiga faktor yang menentukan tingkat keparahan cedera dari *arc flash* adalah kedekatan pekerja untuk bahaya, suhu, waktu untuk *circuit breaker* membuka. Jumlah energi yang dipancarkan oleh *arc flash* adalah fungsi dari tegangan, arus gangguan, jarak pekerja dari *arc flash*, panjangnya *arc flash*, dan waktu yang dibutuhkan oleh peralatan pengaman arus lebih untuk menghilangkan gangguan [2].

Arching fault dapat menghasilkan semua sepectrum radiasi seperti inframerah, ultra violet, dan cahaya tampak dengan efek yang terkait seperti gelombang bertekanan. Radiasi infra merah dan panas yang tinggi menyebabkan luka bakar yang serius pada kulit seseorang dan dalam kasus tertentu juga menyebabkan kematian. Gelombang bertekanan dapat menyebabkan seseorang kehilangan pendengaran atau bahkan patah tulang. Pada kondisi tempat tertutup, asap dari *arc flash* menyebabkan luka bakar jaringan paru-paru yang berdampak pada kematian.

2.3 Energi Arc Flash

Perhitungan energi *arc flash* berdasarkan standar IEEE 1584-2002. Perhitungan ini diaplikasikan pada sistem dengan range tegangan tiga fasa 208-15 kV yang bekerja pada frekwensi 50-60Hz, *bolted fault current* 700-106 kA, gap antar konduktor sebesar 13 mm-152 mm dan sistem uji gangguan hubung singkat tiga fasa.

Penentuan nilai *arching current* saat terjadi gangguan tiga fasa diperlukan untuk menentukan waktu operasi *circuit breaker* dengan tujuan mengamankan peralatan yang ada. Persamaan untuk penentuan *arching current* dibedakan menjadi dua yaitu: [3]

a. *arching current* untuk sistem dibawah 1000 V [3]

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf}) \quad (2.4)$$

Dimana:

\lg = \log_{10}

I_a = arus arcing (kA)

K = -0,153 untuk konfigurasi terbuka dan -0,097 untuk konfigurasi box

I_{bf} = *bolted fault current* pada gangguan tiga fase (*symmetrical RMS*) (kA)

V = tegangan sistem (kV)

G = jarak antar konduktor (mm)

b. *arching current* untuk sistem diatas 1000 V [3]

$$\lg I_a = 0,00402 + 0,983 \lg I_{bf} \quad (2.5)$$

Dimana:

\lg = \log_{10}

I_a = arus arcing (kA)

I_{bf} = *bolted fault current* pada gangguan tiga fasa (*symmetrical RMS*) (kA)

Perhitungan arus *arc flash* pada level tegangan 1000 V atau lebih konstanta untuk open atau box configurations (K) diabaikan. Perhitungan besar *incident energy* berdasarkan IEEE 1584-2002 menggunakan [3]

$$\lg E_n = K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G \quad (2.6)$$

Persamaan diatas disederhakan menjadi

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G} \quad (2.7)$$

Dimana:

E_n = *incident energy* (J/cm²) *normalized* untuk waktu dan jarak

$K1$ = - 0,792 untuk konfigurasi terbuka (*no enclosure*) dan

- 0,555 untuk konfigurasi *box (enclosed equipment)*
- K2 = 0 untuk sistem *ungrounded and high-resistance grounded*
- 0,113 untuk sistem *grounded*
- G = gap antara *conductors* (mm)

Berdasar pada IEEE 1584-2002 persamaan (2.6) di *normalized* terlebih dahulu berdasarkan data waktu *close circuit breaker* 0,2 s atau 200 ms, jarak antara titik *arc flash* dengan pekerja adalah 610 mm atau setara dengan 0,61 m. Hasil pengkonversian dari kondisi *normalized* didapatkan [3]

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \quad (2.8)$$

Dimana:

E = *incident energy* (J/cm²)

C_f = calculation factor

1,0 untuk tegangan diatas 1000 V

1,5 untuk tegangan dibawah 1000 V

E_n = *incident energy* (J/cm²) *normalized* untuk waktu dan jarak

t = *arching time* (S)

D = jarak antara titik *arc flash* dengan pekerja (mm)

x = *distance x factor*

Tabel 2.1 menunjukkan standar *distance x factor*, standar untuk masing-masing kelas peralatan ditunjukkan pada table 2.2, dan standar jarak antar konduktor (gap) ditunjukkan pada table 2.3

Tabel 2.1 Faktor Untuk Peralatan dan Kelas Tegangan [1]

<i>System Voltage (kV)</i>	<i>Equipment Type</i>	<i>Typical Gap Between Conductors (mm)</i>	<i>Distance x Factor</i>
0,208-1	Open air	10-40	2
	Switchgear	32	1,473
	MCC and panels	25	1,641
	Cable	13	2

Tabel 2.1 Faktor Untuk Peralatan dan Kelas Tegangan [1]
(Lanjutan)

<i>System Voltage (kV)</i>	<i>Equipment Type</i>	<i>Typical Gap Between Conductors (mm)</i>	<i>Distance x Factor</i>
>1-5	Open air	13-102	2
	Switchgear	13-102	0,973
	Cable	13	2
>5-15	Open air	13-153	2
	Switchgear	153	0,973
	Cable	13	2

2.4 Flash Protection Boundary

Pengertian dari *flash protection boundary* adalah batas jarak perlindungan terhadap titik *arc flash* terjadi. Yaitu Batas jarak tertentu seseorang dengan konduktor aktif, yang dapat mengakibatkan orang tersebut terkena dampak bahaya *arc flash*. *Flash protection boundary* dapat dikategorikan setelah nilai dari insiden energi *arc flash* ini diketahui. Berdasar pada standar IEEE 1584-2002, *flash protection boundary* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut [3]:

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \quad (2.9)$$

Dimana:

D_B = jarak batas dari titik arcing (mm)

C_f = faktor pengali

1,0 untuk tegangan diatas 1kV, dan

1,5 untuk tegangan dibawah 1kV

E_n = *incident energy normalized*

E_B = *incident energy in J/cm² at the boundary distance*

t = waktu arcing (detik)

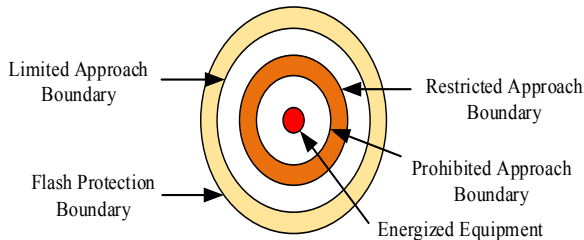
x = jarak exponent dari tabel 2.1

I_{bf} = *bolted fault current*

Nilai E_B dapat disetting 5,0 J/cm² untuk *bare skin (no hood)* atau rating dari PPE yang diajukan (5,0 J/cm² = 1,2 cal/cm²).

Demi meningkatkan kewaspadaan terhadap bahaya *arc flash*, diperlukan pemahaman tentang *flash protection boundary*. Detil dari

ilustrasi batas perlindungan terhadap bahaya *arc flash* terdapat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Ilustrasi *Flash Protection Boundary*

- a. *Flash Protection Boundary*
Merupakan batas perlindungan dimana tingkat incident energi sama dengan $1,2 \text{ cal/cm}^2$. Pada area ini memungkinkan pekerja mengalami dampak cedera parah jika terjadi *arc flash*.
- b. *Limited Approach Boundary*
Batas pendekatan jarak dari bagian konduktor aktif dimana terdapat sebuah bahaya sengatan listrik. Area ini merupakan batas perlindungan untuk tidak dilewati orang yang tidak memenuhi syarat, kecuali mendapat pengawasan orang yang sudah berpengalaman.
- c. *Restricted Approach Boundary*
Batas pendekatan jarak dari bagian konduktor aktif dimana terdapat peningkatan resiko *shock* yang terjadi karena busur api dikombinasikan dengan gerakan tidak sengaja pekerja. Area ini merupakan batas perlindungan yang hanya orang-orang berpengalaman boleh melintasi batas ini. Pada saat melintasi area ini diwajibkan menggunakan pakaian dan peralatan yang dibutuhkan.
- d. *Prohibited Approach Boundary*
Batas pendekatan jarak dari konduktor aktif dimana pekerja dianggap seperti melakukan kontak langsung dengan konduktor aktif. Area ini merupakan batas perlindungan dimana apabila ingin melintasi batas ini tidak hanya harus menggunakan pakaian dan peralatan pelindung tetapi juga diharuskan melibatkan orang-orang yang telah mamenuhi kualifikasi terhadap *arc flash hazard*. Pada area ini para pekerja akan melakukan kontak langsung dengan konduktor aktif.

2.5 Personal Protective Equipment (PPE)

PPE adalah perlengkapan keselamatan yang harus digunakan setiap orang yang akan masuk ke dalam area yang memungkinkan terjadinya *arc flash*. Jenis perlengkapan ini berdasarkan dari NFPA 70E 2015. Katagori dari PPE ini di dapat dari besarnya energi yang dihasilkan oleh *arc flash* dan dampak yang diakibatkan oleh *arc flash hazard* terhadap pekerja. Berikut tabel PPE berdasarkan katagori insiden energi yang dilepaskan.

Tabel 2.2. *Personal Protective Equipment (PPE)* [2]

Category	Personal Protective Equipment (PPE)
1	<p>Arc-Rating, Minimum Arc Rating of 4 Cal/cm² <i>Arc-rated long-sleeve shirt and pants or arc-rated coverall</i> <i>Arc-rated face shield or arc flash suit hood</i> <i>Arc-rated jacket, parka, rainwear, or hard hat liner (AN)</i></p> <p>Protective Equipment <i>Hard hat, Safety glasses or safety goggles (SR), Hearing protection (ear canal inserts), Heavy duty leather gloves</i> <i>Leather footwear (AN)</i></p>
2	<p>Arc-Rated Clothing, Minimum Arc Rating of 8 cal/cm² <i>Arc-rated long-sleeve shirt and pants or arc-rated coverall</i> <i>Arc-rated flash suit hood or arc-rated face shield and arc-rated balaclava</i> <i>Arc-rated jacket, parka, rainwear, or hard hat liner (AN)</i></p> <p>Protective Equipment <i>Hard hat, Safety glasses or safety goggles (SR), Hearing protection (ear canal inserts), Heavy duty leather gloves,</i> <i>Leather footwear</i></p>
3	<p>Arc-Rated Clothing Selected so That the System Arc Rating Meets the Required Minimum Arc Rating of 25 cal/cm² <i>Arc-rated long-sleeve shirt (AR), Arc-rated pants (AR), Arc-rated coverall (AR), Arc-rated arc flash suit jacket (AR), Arc-rated arc flash suit pants (AR), Arc-rated arc flash suit hood, Arc-rated gloves</i> <i>Arc-rated jacket, parka, rainwear, or hard hat liner (AN)</i></p> <p>Protective Equipment <i>Hard hat, Safety glasses or safety goggles (SR)</i> <i>Hearing protection (ear canal inserts), Leather footwear</i></p>

Tabel 2.2. *Personal Protective Equipment (PPE)* [2] (lanjutan)

Category	Personal Protective Equipment (PPE)
4	<p><i>Arc-Rated Clothing Selected so That the System Arc Rating Meets the Required Minimum Arc Rating of 40 cal/cm²</i></p> <p><i>Arc-rated long-sleeve shirt (AR)</i> <i>Arc-rated pants (AR)</i> <i>Arc-rated coverall (AR)</i> <i>Arc-rated arc flash suit jacket (AR)</i> <i>Arc-rated arc flash suit pants (AR)</i> <i>Arc-rated arc flash suit hood</i> <i>Arc-rated gloves</i> <i>Arc-rated jacket, parka, rainwear, or hard hat liner (AN)</i></p> <p><i>Protective Equipment</i></p> <p><i>Hard hat</i> <i>Safety glasses or safety goggles (SR)</i> <i>Hearing protection (ear canal inserts)</i> <i>Leather footwear</i></p>

Note:

AN: as needed (optional).

AR: as required.

SR: selection required

Detil dari alat pelindung diri berdasarkan klasifikasi dapat dilihat pada gambar 2.3. Ilustrasi ini berdasarkan pada NFPA 70E 2015.

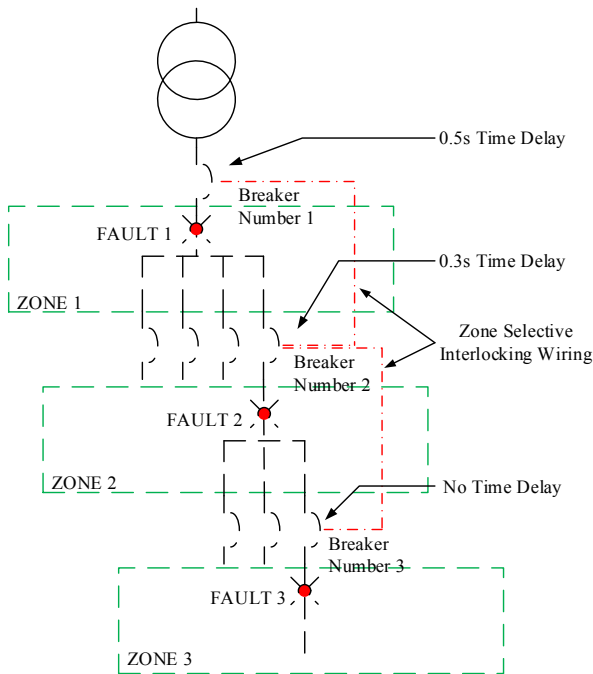


Gambar 2.3 Ilustrasi *Personal Protective Equipment (PPE)*

2.6 Zone Selective Interlocking

Zone Selective Interlocking (ZSI), juga disebut zona pengendalian, adalah sebuah sistem yang dirancang untuk mengurangi tekanan pada peralatan distribusi listrik selama kondisi arus pendek atau *ground-fault*. ZSI bekerja dengan sistem distribusi terkoordinasi untuk membatasi tekanan kesalahan pada sistem dengan mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk menghilangkan kesalahan. Kondisi kesalahan dapat menyebabkan tekanan termal dan mekanik pada sistem kelistrikan. Tekanan termal adalah hasil dari energi yang hilang dalam sistem selama kesalahan terjadi dan dapat dinyatakan sebagai (I^2t) (arus gangguan kuadrat kali panjang waktu kesalahan). Tekanan mekanik adalah hasil dari arus puncak yang menyebabkan kekuatan magnet tinggi yang bisa menekuk bus bar, konduktor cambuk dan merusak isolator.

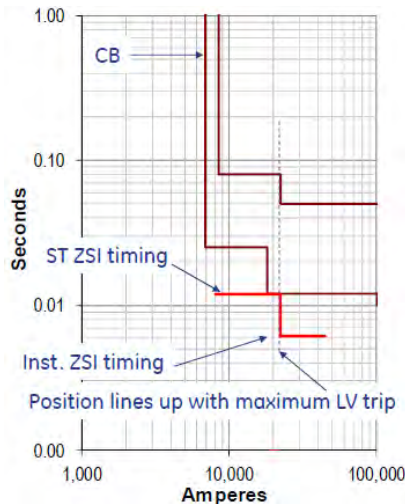
Konsep ZSI bermula dari mahalnya harga relay bus *differential* dan membutuhkan ruang banyak akibat dari pemasangan *current transformer* sehingga sejak saat itu ZSI dikemabangkan karena tidak membutuhkan ruang besar dan biaya ZSI lebih murah dibandingkan dengan relay bus *differential*. Fokus dari skema ZSI adalah untuk mempercepat *tripping time* tanpa mengorbankan koordinasi selektif dan *interjecting* gangguan *tripping* ke dalam sistem. ZSI mempunyai kemampuan lebih cepat untuk membuka pemutus sirkuit selama kondisi hubungan arus pendek atau *ground-fault*, sehingga tekanan (termal dan mekanik) pada sistem listrik dapat dikurangi. ZSI merupakan salah satu metode pengurangan insiden energi dari *arc flash* yang efektif dan relatif murah [4]. Instalasi ZSI hanya membutuhkan kabel dan tenaga kerja jika *circuit breaker trip unit* sudah memiliki fitur ZSI [4]. Prinsip kerja ZSI adalah menggunakan prinsip komunikasi antar CB, sehingga antara CB satu dengan CB lainnya dapat mengirim dan menerima sinyal. Sinyal tersebut digunakan untuk mendeteksi daerah kerja dari CB untuk *trip* sehingga pengamanan dari gangguan lebih cepat dan efektif. ZSI dapat bekerja sampai 3 tingkat, meskipun penggunaan ZSI paling umum hanya 2 tingkat [4]. Detil dari skema ZSI dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sistem *Zone Selective Interlocking* (ZSI) [5]

ZSI memberikan akses *circuit breaker* (CB) elektronik untuk saling berkomunikasi pada zona distribusi. Jika gangguan terjadi pada zone 3, unit trip akan mengirim sebuah sinyal ke CB-2 (zone 2) sebagai tanda bahwa gangguan berada pada zone 3 [5]. Sinyal *blocking* memberikan informasi ke CB-2 (zone 2) untuk trip sesuai time delay ataupun sebagai *back up* dari CB-3 (zone 3). Maka CB-3 (zone 3) bertugas untuk mengamankan gangguan tersebut [5]. Ketika gangguan terjadi pada zone 2, unit trip akan mengirim sebuah sinyal ke CB-1 (zone 1) sebagai tanda bahwa gangguan berada pada zone 2 [5]. Sinyal *blocking* memberikan informasi ke CB-1 (zone 1) untuk trip sesuai time delay ataupun sebagai *back up* dari CB-2 (zone 2). Maka CB-2 (zone 2) bertugas untuk mengamankan gangguan tersebut [5]. Apabila gangguan terjadi pada lokasi gangguan 1, maka tidak akan ada *blocking signal* yang akan dikirimkan ke breaker CB-1 (zone 1) [5]. Ketika breaker CB-1 (zone 1) merasakan ada gangguan namun tidak mendapat *blocking signal*, maka

CB-1 (zone 1) akan *trip* secara *instant* tanpa waktu tunda [5]. *Signal timing* dari ZSI adalah berkisar 0,01s sehingga sinyal *blocking* dapat dikirim terlebih dahulu sebelum *breaker trip* tanpa *delay* [6].



Gambar 2.5 Waktu Sinyal ZSI [6]

Dalam skema ZSI ini, breaker satu dengan breaker yang lainnya terhubung dengan kabel untuk berkomunikasi dengan mengirimkan *blocking signal*. Sehingga dari cara tersebut insiden energi *arc flash* dapat direduksi. Hal itu didasarkan pada prinsip waktu *trip unit* kerja semakin cepat mengamankan gangguan, maka insiden energi yang terlepas semakin kecil. Pengaplikasian ZSI sebagai solusi dari pengurangan energi *arc-flash* terdapat beberapa yang harus diperhatikan yakni: [4]

1. ZSI bekerja secara otomatis (tidak perlu adanya tindakan pencegahan).
2. ZSI hanya berdampak pada karakteristik *short time delay* dan *ground fault time delay*.
3. Arus gangguan *arcing* harus berada di atas setting STPU (*short time pick up*) untuk mengurangi insiden energi.
4. ZSI membutuhkan tambahan 2 *cycle* (maksimum 3 *cycle*) agar breaker *trip* dibandingkan dengan instant trip yang mencapai 5-6 *cycle*.

5. ZSI memerlukan prosedur tes breaker yang sedikit berbeda selama perawatan atau kalibrasi.

ZSI pada awalnya merupakan kemampuan *trip unit* pada *low voltage circuit breaker* untuk mengurangi fault stress pada peralatan. Didalam perkembangannya digunakan untuk mengurangi insiden energi *arc flash*, hal ini berdasarkan pada semakin cepat waktu pengaman dalam mengamankan gangguan maka semakin kecil pula insiden energi yang *arc flash* yang dilepaskan. Sehingga insiden energi besar karena berdasar pada koordinasi proteksi biasa dapat direduksi dengan menggunakan ZSI. Penggunaan ZSI menjadikan koordinasi dan selektivitas menjadi tidak bersebrangan.

Hal ini diakibatkan oleh *time delay* antara *upstream circuit breaker* dan *downstream circuit breaker* harus memenuhi dari standar koordinasi proteksi, yaitu 0,2-0,4 detik, sehingga *upstream circuit breaker* yang memiliki waktu yang lebih lama akan mengalami insiden energi *arc flash* yang besar. Hal ini berdasar pada arus gangguan yang sama memiliki waktu trip yang lebih panjang.

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA (PERSERO) RU III PLAJU

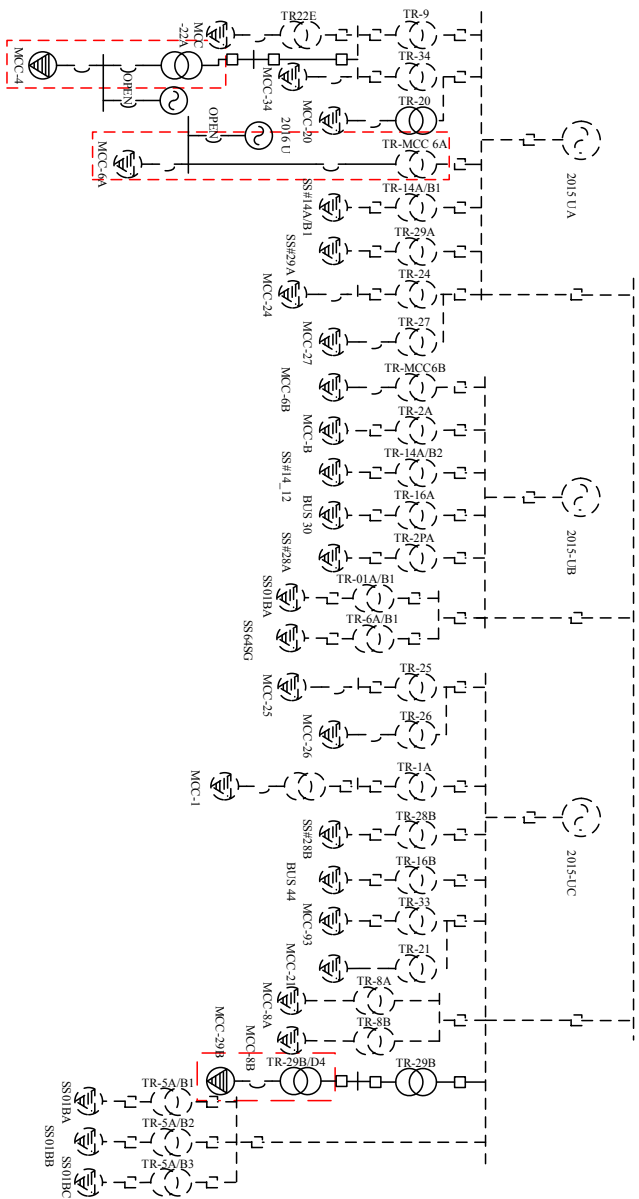
3.1 Sistem Kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju

PT. Pertamina (persero) merupakan badan usaha milik negara (BUMN) yang bergerak dalam bidang pengolahan minyak dan gas bumi. Dalam menjalankan bisnisnya PT. Pertamina mengoperasikan 7 unit pengolahan (*Refinery Unit*). Salah satu unitnya yaitu *Refinery Unit* (RU) III Plaju. PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju adalah salah satu kilang minyak yang terletak di kecamatan Plaju kota Palembang, Sumatera Selatan. PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju mempunyai 3 pusat pembangkit tenaga listrik yaitu *power station 1*, *power station 2* dan *power station 3*. *Power station 1* dan *power station 2* terletak di plaju sedangkan *power station 3* terletak di Sungai Gerong.

PT. Pertamina RU III Plaju melayani kebutuhan suplai daya ke beban-bebannya dengan mengoperasikan 3 unit STG (*Steam Turbin Generator*) dengan kapasitas masing-masing 31 MW. Sistem distribusi yang digunakan adalah sistem *double feeder radial* dengan tegangan distribusi 12 kV dan 6,9 kV untuk tegangan menengah, dan tegangan 0,22–0,5 kV untuk tegangan rendahnya. Data pembangkit yang ada di PT. Pertamina (Persero) RU III dapat dilihat pada tabel 3.1. Sedangkan untuk data pembangkitan, pembebanan, dan *demand* dapat dilihat pada tabel 3.2. Gambar 3.1 merupakan *single line diagram* sistem kelistrikan PT.Pertamina RU III Plaju yang telah disederhanakan.

Tabel 3.1 Data Pembangkit Di PT. Pertamina (Persero) RU III

ID	Tipe	Daya (MW)	Tegangan (KV)	PF (%)	Kecepatan (Rpm)
2015 UA	STG	31	12	80	3000
2015 UB	STG	31	12	80	3000
2015 UC	STG	31	12	80	3000
2016 U	-	0,75	0,4	85	1500
GENSET I	-	1,75	0,4	85	1500
GENSET II	-	1,5	0,4	85	1500



Gambar 3.1 Single Line Diagram Sistem Kelistrikan PT Pertamina RU III Plaju Yang Telah Disederhanakan

Tabel 3.2 Jumlah Total Pembangkitan, Pembebanan, Dan Demand

Keterangan	MW	Mvar	MVA	%PF
Source	204,705	13,225	28,022	88,16
Total Motor Load	16,819	7,982	18,617	90,34
Total Static Load	7,759	4,495	8,967	86,53
Total Demand	24,705	13,225	28,022	88,16
Apparent Losses	0,127	0,0748	-	-

3.2 Sistem Distribusi Di PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju

Sistem distribusi tenaga listrik yang saat ini digunakan oleh PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju adalah sistem jaringan radial ganda. Sistem radial ganda ini terdiri dari sepasang sumber yang masuk atau sepasang trafo atau sepasang *feeder* dari *substation* lain yang memiliki tipe dan kapasitas yang sama serta terhubung dengan dua buah *substation* yang sama juga. Dua *substation* yang sama tersebut terhubung dengan sebuah *Normally open tie circuit breaker* (*bus coupler* atau *automatic transfer switch*) satu dengan yang lainnya.

PT. Pertamina (Persero) RU III membutuhkan pelayanan terhadap beban yang membutuhkan kontinuitas yang tinggi di dalam sistem kelistrikannya. Oleh karena itu sistem distribusi ini cocok diterapkan karena apabila salah satu sumber mengalami gangguan, maka suplai daya dapat disuplai dari sumber yang lain dengan menghubungkan *bus coupler*. Keuntungan dari sistem distribusi radial ganda dengan *bus coupler* dapat meningkatkan kehandalan sistem terutama suplai daya yaitu apabila salah satu *feeder* mengalami gangguan maka suplai daya akan dipindahkan ke *feeder* lain yang tidak terganggu melalui *bus coupler*. Memudahkan pekerjaan pemeliharaan berjadwal dari peralatan utama sistem distribusi tanpa memadamkan beban ataupun memberhentikan operasi pada kilang. Sistem kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju tegangan output generator langsung disalurkan ke masing-masing bus beban kemudian dari tiap-tiap bus ini tegangan akan diturunkan. Tegangan output generator adalah 12 kV dan langsung diturunkan menjadi 6,9 KV maupun 0,4 kV. Sistem kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU III tidak terdapat trafo *step up* untuk menaikkan tegangan output dari generator. PT.

Pertamina (Persero) RU III mempunyai banyak trafo untuk mensuplai beban-beban yang digunakan. Tabel 3.3 merupakan data bus yang ada di PT. Pertamina (Persero) RU III. Sedangkan daftar trafo daya yang mempunyai kapasitas besar terdapat pada tabel 3.4.

Tabel 3.3 Data Bus PT. Pertamina (Persero) RU III

No	ID Bus	Tegangan (kV)
1	SYNC BUS	12
2	SWGR A1	12
3	SWGR A2	12
4	SWGR A3	12
5	SWGR-9	6,9
6	MCC-29A	6,9
7	MCC-29B	0,4
8	MCC-29/4	0,4
9	SS#14B	6,9
10	MCC-14B	6,9
11	SS#15B	6,9
12	RMU24A	6,9
13	SS#17B	6,9
14	LV 17B	0,4
15	MCC-22A	0,4
16	MCC-6A	0,4
17	MCC-27	0,4
18	MCC-4	0,4
19	MCC-2627	0,4
20	MCC-24	6,9
21	MCC-25	6,9
22	MCC-8A	0,4
23	MCC-8B	0,4

Tabel 3.4 Data Trafo Daya Di PT. Pertamina (Persero) RU III

No	ID	kVA	Prim	Sec	%Z	X/R
1	TR29A	7000	12	6,9	6	13,55
2	TR29B/D1	1600	6,9	0,4	5,8	7,1
3	TR14A/B2	20000	12	6,9	10,3	18,6
4	TR 17B/D2	1000	6,9	0,4	5,8	5,79
5	SG-TR01A/B2-2	9400	12	6,9	7,2	12,85
6	SG-TR05A/B1-2	9400	12	6,9	7,2	12,85
7	SG-TR06A/B1-2	6000	12	6,9	7,5	12,85
8	SS-TR01A/B1-1	9400	12	6,9	8	15,5
9	T3	5000	6,9	3,3	7	12,14
10	T4	1250	6,9	0,4	5	7,1
11	T5	1250	6,9	0,4	5	7,1
12	T72	1000	6,9	0,4	5	3,96
13	T74	1000	6,9	0,4	5,8	5,79
14	TR 1	2000	6,9	0,4	5,8	7,1
15	TR24	5000	12	6,9	5,8	14,23
16	TR-28B	3000	12	6,9	7,5	10,67
17	TR-25	7500	12	6,9	5,8	14,23

3.3 Jenis Beban Di PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju

Beban tenaga listrik di PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju-Sungai Gerong terdiri dari *static load* dan beban motor. Contoh *static load* adalah lampu-lampu yang digunakan untuk penerangan sedangkan beban motor antara lain motor-motor listrik yang digunakan sebagai penggerak peralatan-peralatan operasi pada kilang seperti penggerak pompa-pompa kompresor. Motor ini umumnya adalah tipe motor induksi.

Ada banyak motor yang digunakan untuk menunjang kegiatan operasi di kilang. Semua motor yang digunakan mempunyai rating tegangan sendiri-sendiri tergantung kapasitasnya mulai dari motor kecil hingga motor-motor berkapasitas besar. Motor-motor berkapasitas kecil menggunakan tegangan rendah dibawah 1kV sedangkan untuk motor-motor berkapasitas besar menggunakan tegangan menengah. Untuk melakukan operasi di kilang ada banyak motor yang digunakan baik motor dengan tegangan rendah maupun motor dengan tegangan

menengah. Tabel 3.5 merupakan data-data motor yang memiliki daya besar.

Tabel 3.5 Data Beban Motor Di PT. Pertamina (Persero) RU III

ID	Bus	Rating	kV	FLA	%PF
2008JC	MCC-24	475 kW	6,6	48,43	92,06
2025JA	MCC-25	630 kW	6,6	63,87	92,3
2027JB	MCC-24	630 kW	6,6	63,66	92,43
2027JC	MCC-24	630 kW	6,6	63,87	92,3
2025JC	MCC-25	630kW	6,6	63,87	92,3
2027JA	MCC-25	630 kW	6,6	63,87	92,3
LUMP MTR 1	MCC-1	500 kW	0,4	838,3	92,2
RPA3/N4	MCC-34	1000 HP	6,6	74,25	92,28
2210JD	MCC-33	1250 kW	6,6	126,7	92,3
2226JA	RPA4	500 kW	6,6	50,69	92,3
K-101A	SS#29A	447 kW	6,6	45,31	92,3
K-101B	SS#29A	447 kW	6,6	45,31	92,3
ZM 2981	MCC-29B	1400 kW	6,6	140,8	92,63
RPA2/5	MCC-14A	600 HP	6,6	45,51	92,16
RPA2/7	MCC-14A	600 HP	6,6	45,51	92,16
SAC	MCC-14B	600 HP	6,6	45,51	92,16
RPA2/6	MCC-14B	600 HP	6,6	45,51	92,16
RPA2/14	MCC-14B	600 HP	6,6	45,51	92,16
MTR6	SS#11B	600 HP	6,6	45,51	92,16
2210JC	MCC-34	1250 kW	6,6	126,7	92,3
2008JB	MCC-25	475 kW	6,6	48,15	92,3

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISA

4.1 Permodelan Sistem Kelistrikan

Pokok bahasan tugas akhir ini adalah peningkatan proteksi terhadap busur api sistem tegangan rendah 0,4 kV pada PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju, dengan tujuan mengurangi insiden energi menggunakan metode *zone selective interlocking* (ZSI). Analisa yang dilakukan adalah analisa sistem pengaman eksisting, analisa sistem pengaman *resetting* apabila ada kesalahan dalam koordinasi sistem pengaman *existing*, dan implementasi metode ZSI untuk mengurangi insiden energi.

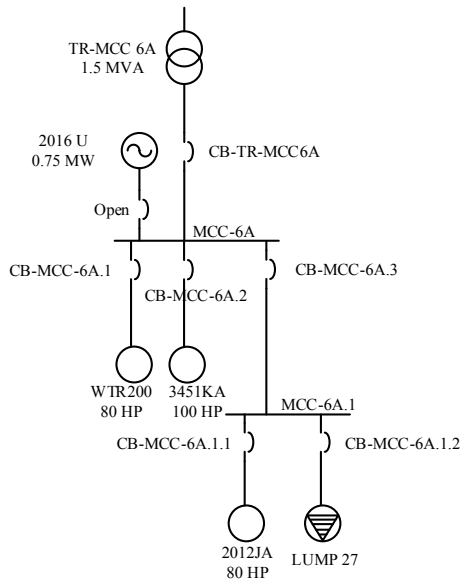
Dalam melakukan analisa, sistem kelistrikan dimodelkan dalam *single line diagram* menggunakan *software* ETAP 7.5. Gambar dari *single line diagram* yang telah disederhanakan dapat dilihat pada gambar 4.1. Tahap selanjutnya adalah melakukan *study* aliran daya (*load flow*) dan hubung singkat (*short circuit*). *Study* aliran daya bertujuan untuk mengetahui keadaan sistem kelistrikan yang ada agar diketahui sistem kelistrikan dalam keadaan baik atau tidak, dan mengetahui sistem tidak dalam keadaan pembebanan berlebih. Simulasi hubung singkat yang dilakukan adalah hubung singkat antar fasa minimum (30 *cycle*) dan hubung singkat maksimum 3 fasa (0,5 *cycle*).

Data yang telah diperoleh dari simulasi hubung singkat digunakan untuk melakukan perbaikan koordinasi pengaman agar didapatkan proteksi yang mampu mengamankan peralatan dari gangguan. Hasil dari setting pengaman digunakan untuk menghitung insiden energi *arc flash* yang terjadi. Tahap terakhir adalah untuk mensimulasikan metode ZSI dengan menggunakan *software* *easypower* 9.7, dengan tujuan mengurangi insiden energi pada sistem kondisi resetting.

Tugas akhir ini memilih 3 tipikal permodelan tegangan rendah 0,4 kV yang mewakili sistem pengamanan pada PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju. Ketiga tipikal tersebut yaitu MCC-6A, MCC-29/4, dan MCC-4. Detail dari ketiga tipikal dapat dilihat pada gambar 4.2 tipikal 1 MCC-6A, gambar 4.3 tipikal 2 MCC-29/4, dan gambar 4.4 tipikal 3 MCC-4.



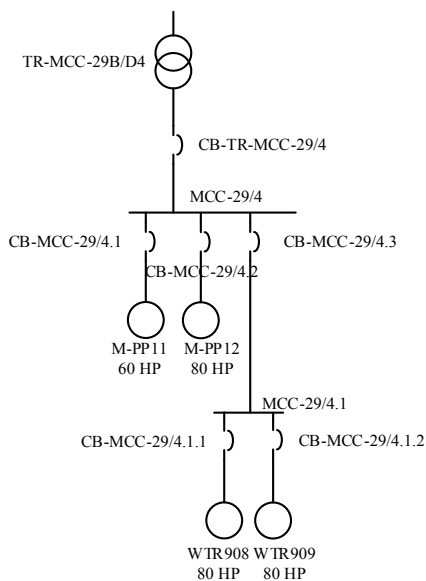
Tipikal 1 terdapat pada MCC-6A. Pada MCC ini terdapat beban motor dengan besaran kapasitas yang berbeda-beda yaitu dua unit motor 80 HP, dan satu unit motor 100 HP seperti terlihat pada gambar 4.2. Tipikal 1 dimulai dari motor 2012JA, bus MCC-6A.1, bus MCC-6A, hingga TR-MCC 6A.



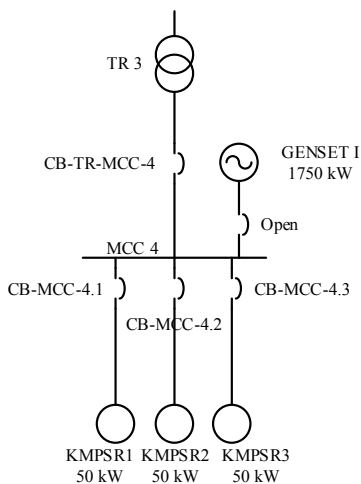
Gambar 4.2 Tipikal 1 MCC-6A

Tipikal 2 terdapat pada MCC-29/4, pada MCC-29/4 terdapat beban motor dengan kapasitas berbeda yaitu tiga unit motor 80 HP, dan satu unit motor 60 HP seperti terlihat pada gambar 4.3. Tipikal 2 dimulai dari motor WTR908, bus MCC-29/4.1, bus MCC-29/4, sampai TR-MCC-29/4.

Tipikal 3 terdapat pada MCC4, pada MCC ini terdapat beban motor dengan kapasitas sama, yaitu tiga unit motor 50 kW seperti terlihat pada gambar 4.4. Tipikal 3 dimulai dari motor KMPSR2, bus MCC 4, hingga TR 3.



Gambar 4.3 Tipikal 2 MCC-29/4



Gambar 4.4 Tipikal 3 MCC-4

4.2 Pengaturan Sistem Pengaman Arus Lebih

Setting peralatan pengaman arus lebih harus memperhatikan *setting* untuk beban penuh dan *setting* untuk hubung singkat. *Setting* beban penuh adalah nominal *rating* arus beban penuh (*full load ampere*) peralatan, bukan *operating current* yang berdasarkan pada kondisi beban mekanis (untuk motor) atau beban listrik. Hal ini disebabkan ketahanan peralatan ditujukan terhadap arus gangguan yang lebih besar dari nominal *rating*-nya. *Setting* pengaman hubung singkat harus memperhitungkan arus hubung singkat minimum dan maksimum yang diakibatkan oleh konfigurasi sistem. Arus hubung singkat diperoleh dengan menghitung impedansi sistem yang mengalami gangguan hubung singkat.

4.3 Simulasi Hubung Singkat

Tugas akhir ini menggunakan ETAP 7.5 untuk mensimulasikan arus hubung singkat, sehingga dapat diperoleh nilai besaran arus hubung singkat pada bus yang telah ditentukan. Besaran nilai arus hubung singkat dari ketiga tipikal pada PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju terdapat pada tabel 4.1, tabel 4.2, dan tabel 4.3.

Tabel 4.1 Data *Short Circuit* Pada MCC 6A

Bus ID	Tegangan (kV)	Isc max 0,5 cycle (kA)	Isc min 30 cycle (kA)
MCC-6A	0,4	39,86	32,01
MCC-6A.1	0,4	39,86	32,01

Tabel 4.2 Data *Short Circuit* Pada MCC 29/4

Bus ID	Tegangan (kV)	Isc max 0,5 cycle (kA)	Isc min 30 cycle (kA)
MCC-29/4	0,4	33,99	26,26
MCC-29/4.1	0,4	33,99	26,26

Tabel 4.3 Data *Short Circuit* Pada MCC 4

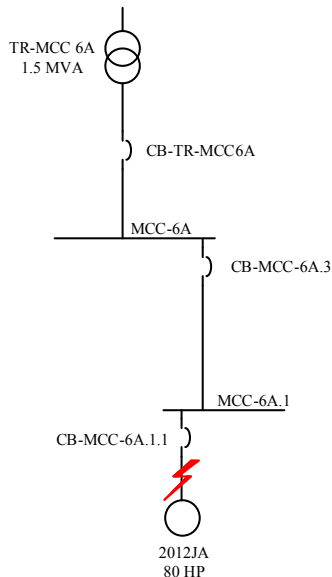
Bus ID	Tegangan (kV)	Isc max 0,5 cycle (kA)	Isc min 30 cycle (kA)
MCC 4	0,4	38,99	31,42

4.4 Simulasi Koordinasi Sistem Pengaman *Existing*

Pada kondisi ini, sistem pengaman dimodelkan sesuai dengan kondisi yang terpasang pada perusahaan saat ini. Data yang ada digunakan untuk memplot koordinasi sistem pengaman pada kondisi *existing*. Dengan tujuan untuk mengetahui sistem pengaman yang ada saat ini sudah baik dan benar atau tidak.

4.4.1 Simulasi Sistem Pengaman Tipikal 1a

Tipikal 1a pada MCC-6A dimulai dari beban motor 2012JA, bus MCC-6A.1, bus MCC-6A, hingga TR-MCC 6A. Tipikal ini terdiri dari beberapa CB yang mengamankan masing-masing daerah pengamanannya. Pengaman yang digunakan pada tipikal ini adalah CB-MCC-6A.1.1, CB-MCC-6A.3, dan CB-TR-MCC6A. Permodelan sistem pengaman *existing* tipikal 1a dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Sistem Pengaman Tipikal 1a

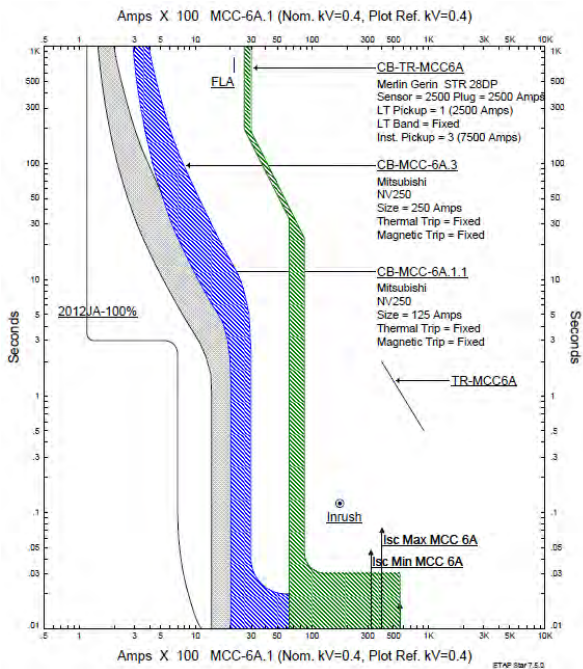
Ketika terjadi gangguan hubung singkat pada motor 2012JA koordinasi pengaman yang seharusnya bekerja lebih awal untuk mengamankan motor adalah CB-MCC-6A.1.1. Apabila gagal, maka CB-

MCC-6A.3 menjadi *back up*, juga sebagai pengaman bus MCC-6A.1. Apabila CB-MCC-6A.3 gagal mengamankan maka sebagai pengaman terakhir adalah CB-TR-MCC6A. CB-TR-MCC6A juga berfungsi untuk melindungi transformator TR-MCC6A dan pengaman bus MCC6A. Data dari *breaker existing* terdapat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data *Breaker* Sistem *Existing* MCC-6A

Breaker ID	Manufacture	Setting	
Capacity (A)	Type		
CB-MCC-6A.1.1	Mitsubishi	Thermal	Fixed
125	NV250-CW	Magnetic	Fixed
CB-MCC-6A.3	Mitsubishi	Thermal	Fixed
250	NV250-CW	Magnetic	Fixed
CB-MCC-6A.2	Mitsubishi	Thermal	Fixed
175	NV250-CW	Magnetic	Fixed
CB-MCC-6A.1	Mitsubishi	Thermal	Fixed
150	NV250-CW	Magnetic	Fixed
CB-MCC-6A.1.2	Mitsubishi	Thermal	Fixed
80	NF100-SP	Magnetic	Fixed
CB-TR-MCC6A	Merlin Gerin	LT Pick Up	1
2500	STR 28DP	LT Band	Fixed
		Instantaneous	3

Data tabel 4.4 digunakan sebagai nilai inputan untuk simulasi koordinasi sistem pengaman kondisi *existing*. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui koordinasi sistem pengaman pada sistem kelistrikan tipikal 1a, dan tipikal 1b. Kurva koordinasi disimulasikan pada ETAP 7.5 *star system* yang ditampilkan pada gambar 4.6. Simulasi *arc flash* pada tipikal 1a memiliki nilai insiden energi yang relatif kecil hal ini karena terdapat kesalahan pada koordinasi sistem proteksi yang ada. Sehingga belum didapatkan sistem pengaman yang selektif dan efektif dalam menjaga stabilitas dari sistem kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju.



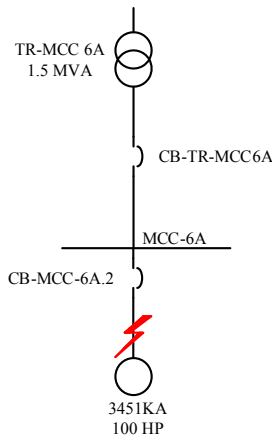
Gambar 4.6 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 1a

Hasil yang diperoleh menunjukkan sistem koordinasi yang ada belum tepat. Ketika terjadi gangguan hubung singkat pada motor 2012JA maka CB-MCC-6A.1.1, CB-MCC-6A.3, dan CB-TR-MCC6A *trip* bersamaan. Hal ini berdampak pada kontinuitas penyaluran daya ke beban yang tidak ada gangguan menjadi terputus. Setting yang ada adalah setting CB pabrikan yang sudah *fixed*, koordinasinya tidak dapat dirubah. CB tipe ini dapat digunakan untuk mengamankan beban lebih. Sehingga ketika terjadi gangguan hubung singkat semua CB akan *trip* tanpa adanya koordinasi sistem pengaman pada daerah masing-masing.

4.4.2 Simulasi Sistem Pengaman Tipikal 1b

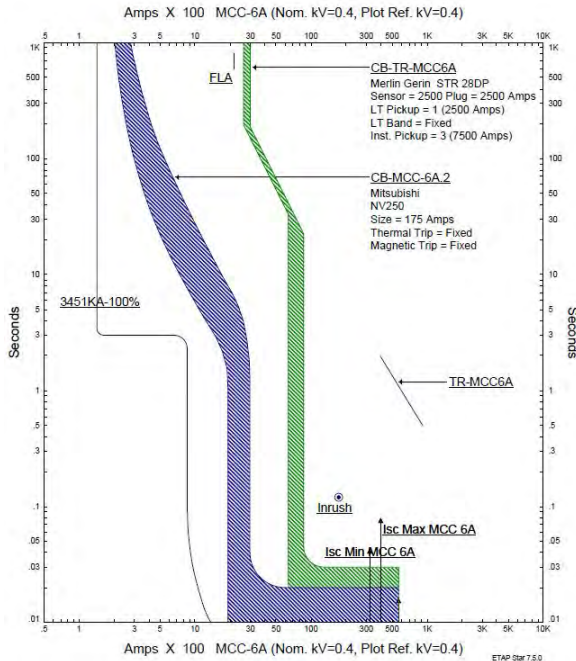
Tipikal 1b pada MCC-6A dimulai dari beban motor 3451KA, bus MCC-6A, hingga TR-MCC 6A. Tipikal ini terdiri dari beberapa CB yang mengamankan masing-masing daerah pengamanannya. Pengaman yang digunakan pada tipikal ini adalah CB-MCC-6A.2, dan CB-TR-MCC6A.

Permodelan sistem pengaman *existing* tipikal 1b dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Sistem Pengaman Tipikal 1b

Ketika terjadi gangguan hubung singkat pada motor 3451KA koordinasi sistem pengaman yang seharusnya bekerja lebih awal untuk mengamankan motor adalah CB-MCC-6A.2. Apabila gagal, sebagai pengaman terakhir adalah CB-TR-MCC6A. CB-TR-MCC6A juga berfungsi untuk melindungi transformator TR-MCC6A dan sebagai pengaman bus MCC6A. Simulasi *arc flash* pada tipikal 1b memiliki insiden energi yang kecil hal ini karena terdapat kesalahan pada koordinasi sistem proteksi yang ada. Sehingga belum didapatkan sistem pengaman yang selektif dan efektif dalam menjaga stabilitas dari sistem kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju. Kurva plot koordinasi sistem pengaman diperoleh dari hasil simulasi ETAP 7.5 *Star System*. Gambar 4.8 menunjukkan hasil plot kurva koordinasi sistem pengaman pada tipikal 1b.

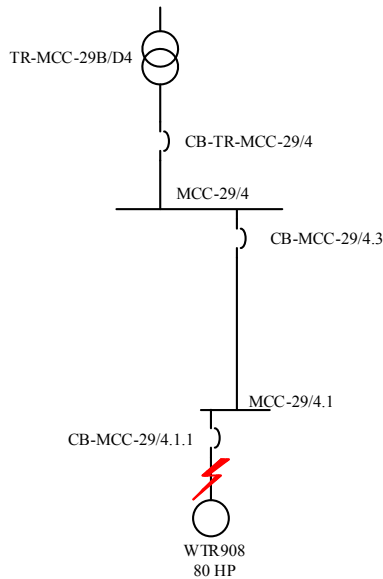


Gambar 4.8 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 1b

Hasil yang diperoleh menunjukkan sistem koordinasi yang ada kurang tepat. Pada saat terjadi gangguan hubung singkat pada motor 3451KA maka CB-MCC-6A.2, dan CB-TR-MCC6A *trip* bersamaan. Hal ini berdampak pada kontinuitas penyaluran daya ke beban yang tidak mengalami gangguan menjadi terputus. Sehingga CB-TR-MCC6A tidak dapat difungsikan sebagai *back up* CB-MCC-6A.2.

4.4.3 Simulasi Sistem Pengaman Tipikal 2a

Tipikal 2a terdapat pada MCC-29/4, dimulai dari motor WTR908, bus MCC-29/4.1, bus MCC-29/4, sampai TR-MCC-29/4. Tipikal 2a terdiri dari beberapa CB yang mengamankan masing-masing daerah pengamanannya. Pengaman yang digunakan pada tipikal ini adalah CB-MCC-29/4.1.1, CB-MCC-29/4.3, dan CB-TR-MCC-29/4. Permodelan sistem pengaman *existing* tipikal 2 dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Sistem Pengaman Tipikal 2a

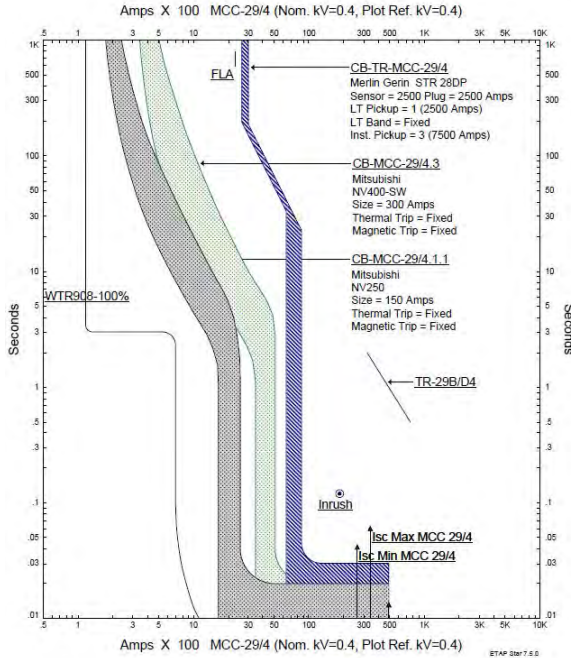
Ketika terjadi gangguan hubung singkat pada motor WTR908, koordinasi pengaman yang seharusnya bekerja lebih awal untuk mengamankan motor adalah CB-MCC-29/4.1.1. Apabila CB-MCC-29/4.1.1 gagal, maka CB-MCC-29/4.3 berfungsi menjadi *back up* CB-MCC-29/4.1.1, juga berfungsi sebagai sebagai pengaman bus MCC-29/4.1. Apabila CB-MCC-29/4.3 gagal mengamankan maka sebagai pengaman terakhir adalah CB-TR-MCC-29/4. CB-TR-MCC-29/4 berfungsi untuk melindungi transformator TR-MCC-29B/D4 dan pengaman bus MCC-29/4. Tabel 4.5 adalah data *existing* CB pada MCC-29/4. Data pada tabel ini memuat data keseluruhan CB yang ada pada MCC-29/4. Data ini digunakan sebagai inputan dalam mensimulasikan pada ETAP *star system*.

Tabel 4.5 Data Breaker Sistem Existing MCC-29/4

Breaker ID	Manufacture	Setting	
Capacity (A)	Type		
CB-MCC-29/4.1.1	Mitsubishi	<i>Thermal</i>	<i>Fixed</i>
150	NV250-CW	<i>Magnetic</i>	<i>Fixed</i>
CB-MCC-29/4.1.2	Mitsubishi	<i>Thermal</i>	<i>Fixed</i>
150	NV250-CW	<i>Magnetic</i>	<i>Fixed</i>
CB-MCC-29/4.3	Mitsubishi	<i>Thermal</i>	<i>Fixed</i>
300	NV400-CW	<i>Magnetic</i>	<i>Fixed</i>
CB-MCC-29/4.2	Mitsubishi	<i>Thermal</i>	<i>Fixed</i>
150	NV250-CW	<i>Magnetic</i>	<i>Fixed</i>
CB-MCC-29/4.1	Mitsubishi	<i>Thermal</i>	<i>Fixed</i>
125	NV250-CW	<i>Magnetic</i>	<i>Fixed</i>
CB-TR-MCC-29/4	Merlin Gerin	LT Pick Up	1
2500	STR 28DP	LT Band	<i>Fixed</i>
		Instantaneous	3

Kurva koordinasi tipikal 2a yang disimulasikan pada ETAP 7.5 *star system* dapat dilihat pada gambar 4.10. Simulasi *arc flash* pada tipikal 2a memiliki insiden energi yang kecil. Hal ini karena terdapat kesalahan pada koordinasi sistem proteksi yang ada. Sehingga belum didapatkan sistem pengaman yang selektif dan efektif dalam menjaga stabilitas dari sistem kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju.

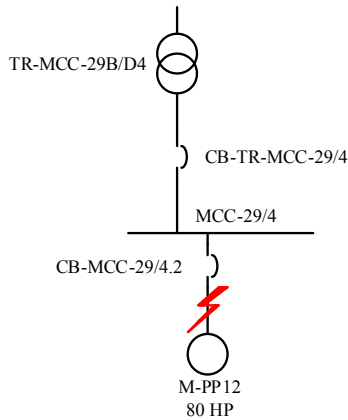
Hasil yang diperoleh menunjukkan sistem koordinasi yang ada masih belum tepat. Ketika terjadi gangguan hubung singkat pada motor WTR908 maka CB-MCC-29/4.1.1, CB-MCC-29/4.3, dan CB-TR-MCC-29/4 akan trip bersamaan. Hal ini berdampak pada kontinuitas penyaluran daya ke beban yang tidak mengalami gangguan akan terputus. Sehingga CB-MCC-29/4.3, dan CB-TR-MCC-29/4 tidak dapat difungsikan sebagai *back up* CB-MCC-29/4.1.1.



Gambar 4.10 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 2a

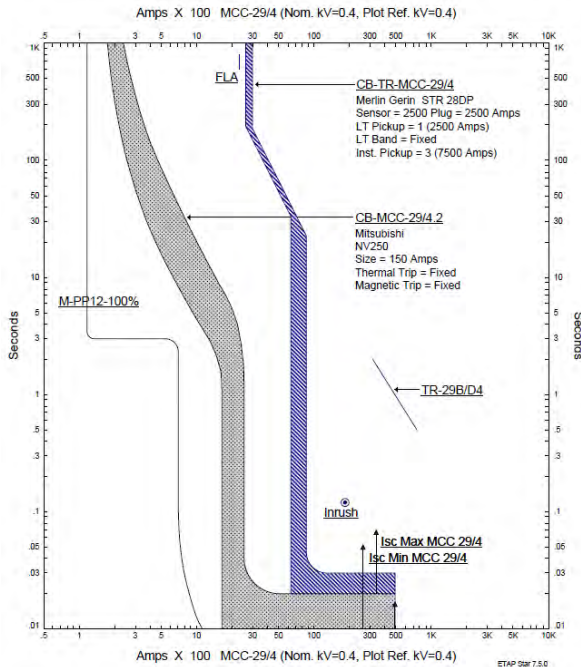
4.4.4 Simulasi Sistem Pengaman Tipikal 2b

Permodelan sistem pengam *existing* tipikal 2b dapat dilihat pada gambar 4.11. Tipikal 2b dimulai dari motor M-PP12, bus MCC-29/4, sampai TR-MCC-29/4. Tipikal 2b ini terdiri dari beberapa CB yang mengamankan masing-masing daerah pengamanannya. Pengaman yang digunakan pada tipikal ini adalah CB-MCC-29/4.2, dan CB-TR-MCC-29/4.



Gambar 4.11 Sistem Pengaman Tipikal 2b

Pada saat terjadi gangguan hubung singkat pada motor M-PP12 pengaman yang seharusnya bekerja lebih awal untuk mengamankan motor adalah CB-MCC-29/4.2. Apabila CB-MCC-29/4.2 gagal, maka sebagai pengaman terakhir adalah CB-TR-MCC-29/4. CB-TR-MCC-29/4 juga berfungsi untuk melindungi transformator TR-MCC-29B/D4 dan pengaman bus MCC-29/4. Simulasi *arc flash* pada tipikal 2b memiliki insiden energi yang relatif kecil dikarenakan terdapat kesalahan pada koordinasi sistem proteksi yang ada. Sehingga belum didapatkan sistem pengaman yang selektif dan efektif dalam menjaga stabilitas dari sistem kelistrikan PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju. Kurva plot koordinasi sistem pengaman diperoleh dari hasil simulasi ETAP 7.5 *Star System*. Gambar 4.12 menunjukkan hasil plot kurva koordinasi sistem pengaman pada tipikal 2b.

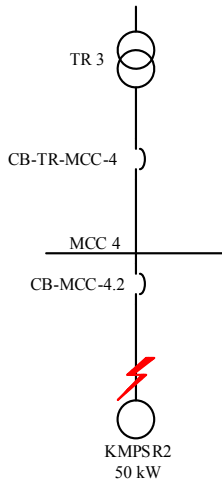


Gambar 4.12 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 2b

Hasil plot simulasi menunjukkan sistem koordinasi yang ada masih belum tepat. Ketika terjadi gangguan hubung singkat pada motor M-PP12 maka CB-MCC-29/4.2, dan CB-TR-MCC-29/4 trip semuanya. Hal ini berdampak pada kontinuitas penyaluran daya ke beban yang tidak ada gangguan menjadi terputus.

4.4.5 Simulasi Sistem Pengaman Tipikal 3

Permodelan sistem pengam existing tipikal 3 dapat dilihat pada gambar 4.13. Tipikal 3 dimulai dari motor KMPSR2, bus MCC 4, hingga TR 3. Pada Tipikal 3 terdapat beberapa CB yang mengamankan masing-masing daerah pengamanannya. Pengaman yang digunakan pada tipikal ini adalah CB-MCC-4.2, dan CB-TR-MCC-4.



Gambar 4.13 Sistem Pengaman Tipikal 3

Pada saat terjadi gangguan hubung singkat pada motor KMPSR2 maka sebagai pengaman gangguan pertama seharusnya adalah CB-MCC-4.2, ketika gagal mengamankan gangguan maka CB-TR-MCC-4 menjadi backup dari CB-MCC-4.2. CB-TR-MCC-4 berfungsi sebagai pengaman TR 3 dan pengaman bus MCC4. Tabel 4.6 adalah data *existing* CB pada MCC-4. Data pada tabel ini memuat data keseluruhan CB yang ada pada MCC-4. Data ini digunakan sebagai inputan dalam mensimulasikan pada ETAP *star system*.

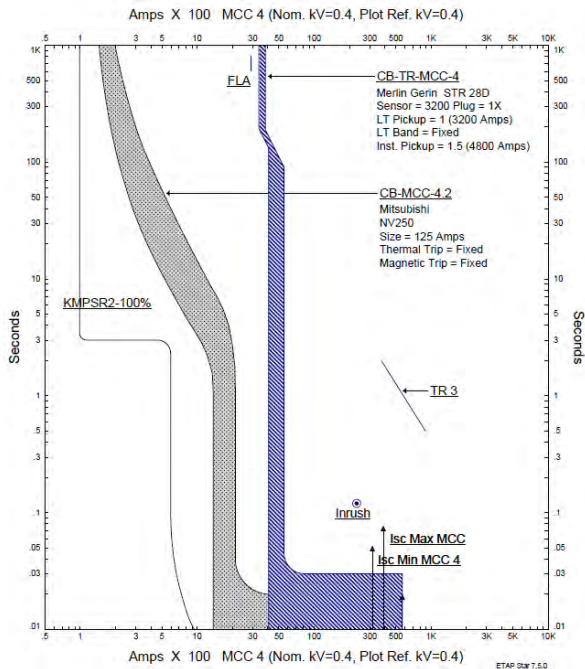
Tabel 4.6 Data Breaker Sistem Existing MCC-4

Breaker ID	Manufacture	Setting	
Capacity (A)	Type		
CB-MCC-4.1	Mitsubishi	<i>Thermal</i>	<i>Fixed</i>
125	NV250-CW	<i>Magnetic</i>	<i>Fixed</i>
CB-MCC-4.2	Mitsubishi	<i>Thermal</i>	<i>Fixed</i>
125	NV250-CW	<i>Magnetic</i>	<i>Fixed</i>

Tabel 4.6 Data Breaker Sistem Existing MCC-4 (lanjutan)

Breaker ID	Manufacture	Setting	
Capacity (A)	Type		
CB-MCC-4.3	Mitsubishi	Thermal	Fixed
125	NV250-CW	Magnetic	Fixed
CB-TR-MCC-4	Merlin Gerin	LT Pick Up	1
3200	STR 28DP	LT Band	Fixed
		Instantaneous	1,5

Plot kurva koordinasi tipikal 3 yang telah disimulasikan pada ETAP 7.5 *star system* dapat dilihat pada gambar 4.14. Simulasi *arc flash* pada tipikal 3 ini masih memiliki insiden energi yang relatif kecil hal ini karena terdapat kesalahan pada koordinasi sistem proteksi yang ada.



Gambar 4.14 Plot Kurva Koordinasi Sistem Pengaman Tipikal 3

Hasil plot yang dilakukan menunjukkan bahwa koodinasi sistem pengaman pada tipikal 3 kurang tepat. Pada saat ada gangguan pada motor KMPSR2 maka CB-MCC-4.2 dan CB-TR-MCC-4 *trip* semua. Sehingga CB-TR-MCC-4 tidak dapat digunakan sebagai *backup* untuk CB-MCC-4.2.

4.5 Simulasi Koordinasi Sistem Pengaman *Resetting*

Hasil simulasi kondisi *existing* didapatkan koordinasi sistem proteksi yang kurang tepat pada tipikal 1a, 1b, 2a, 2b, dan tipikal 3. Untuk mendapatkan koordinasi sistem pengaman yang selektif dan memenuhi standar maka pada tugas akhir ini dilakukan *resetting* pada tipikal tersebut. Setelah didapatkan kondisi *resetting*, maka tahap selanjutnya dilakukan analisa mengenai *arc flash* menggunakan standar IEEE1584-2002 untuk mengetahui nilai besaran energi *arc flash*. Simulasi *arc flash* ini menggunakan *software* ETAP 7.5.

4.5.1 Simulasi Koordinasi Pengaman *Resetting*-Tipikal 1

a. CB-MCC-6A.1.1

FLA motor 2012JA	: 116,8 A
<i>Locked rotor current</i> (LRC)	: 600%
Isc minimum	: 32,01 kA
Isc maksimum	: 39,86 kA
<i>Manufacture</i>	: Square-D
<i>Type</i>	: Micrologic full-LE
<i>Sensor</i>	: 250
<i>Plug</i>	: 250
<i>Setting arus</i> LT <i>picup</i>	: 125; 150; 175; 187,5; 200; 225; 237,5; 250
<i>Setting arus</i> ST <i>picup</i>	: 500; 625; 750; 1000; 1250; 1500; 1750; 2000

Long Time Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 116,8 < \text{Iset} < 1,4 \times 116,8$$

$$122,64 < \text{Iset} < 163,25$$

$$\text{Dipilih Iset} = 125 \text{ A}$$

$$\text{LT pickup} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = \frac{125}{250} = 0,5$$

Long Time Band

Dipilih LT band = 2

Short Time Pickup

$LRC < I_{set} < 0,8 \times I_{sc \text{ minimum}}$

$700,8 < I_{set} < 0,8 \times 32010$

$700,8 < I_{set} < 25608$

Dipilih $I_{set} = 750 \text{ A}$

$$ST \text{ pickup} = \frac{I_{set}}{\text{Rating plug}} = \frac{750}{250} = 3$$

Short Time Band

Dipilih ST band (*time delay*) = 0,1s

b. CB-MCC-6A.1.3

FLA : 116,8 + 69,24 = 186,24 A

Locked rotor current (LRC) : 600%

Isc minimum : 32,01 kA

Isc maksimum : 39,86 kA

Manufacture : Square-D

Type : Micrologic full-LE

Sensor : 250

Plug : 250

Setting arus LT pickup : 125; 150; 175; 187,5; 200; 225;
237,5; 250

Setting arus ST pickup : 500; 625; 750; 1000; 1250; 1500;
1750; 2000

Long Time Pickup

$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$

$1,05 \times 186,24 < I_{set} < 1,4 \times 186,24$

$195,34 < I_{set} < 260,73$

Dipilih $I_{set} = 200 \text{ A}$

$$LT \text{ pickup} = \frac{I_{set}}{\text{Rating plug}} = \frac{200}{250} = 0,8$$

Long Time Band

Dipilih LT band = 4,5

Short Time Pickup

$LRC < I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ minimum}$

$1117,44 < I_{set} < 0,8 \times 32010$

$1117,44 < I_{set} < 25608$

Dipilih $I_{set} = 1250 \text{ A}$

$ST \text{ pickup} = \frac{I_{set}}{\text{Rating plug}} = \frac{1250}{250} = 5$

Short Time Band

Dipilih ST band (*time delay*) = 0,3s

c. CB-TR-MCC6A

FLA TR-MCC6A : 2165 A (sekunder trafo)

I_{sc} minimum : 32,01 kA

I_{sc} maksimum : 39,86 kA

Manufacture : Square-D

Type : Micrologic full-SE

Sensor : 2500

Plug : 2500

Setting arus LT pickup : 1250; 1500; 1750; 1875; 2000;
2250; 2375; 2500

Setting arus ST pickup : 5000; 6250; 7500; 10000; 12500;
15000; 20000; 25000

Long Time Pickup

$1,05 \times FLA < I_{set} < 1,4 \times FLA$

$1,05 \times 2165 < I_{set} < 1,4 \times 2165$

$2273,5 < I_{set} < 3031$

Dipilih $I_{set} = 2375 \text{ A}$

$LT \text{ pickup} = \frac{I_{set}}{\text{Rating plug}} = \frac{2375}{2500} = 0,95$

Long Time Band

Dipilih LT band = 4,5

Short Time Pickup

$I_{set} < 0,8 \times I_{sc} \text{ minimum}$

$I_{set} < 0,8 \times 32010$

$I_{set} < 25608$

Dipilih $I_{set} = 10000 \text{ A}$

$$\text{ST pickup} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = \frac{10000}{2500} = 4$$

Short Time Band

Dipilih ST band (*time delay*) = 0,5s

d. CB-MCC-6A.2

FLA	: 142,6 A
Locked rotor current (LRC)	: 600%
Isc minimum	: 32,01 kA
Isc maksimum	: 39,86 kA
Manufacture	: Square-D
Type	: Micrologic full-LE
Sensor	: 250
Plug	: 250
Setting arus LT pickup	: 125; 150; 175; 187,5; 200; 225; 237,5; 250
Setting arus ST pickup	: 500; 625; 750; 1000; 1250; 1500; 1750; 2000

Long Time Pickup

1,05 x FLA < Iset < 1,4 x FLA
 1,05 x 142,6 < Iset < 1,4 x 142,6
 149,73 < Iset < 199,64

Dipilih Iset = 150 A

$$\text{LT pickup} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = \frac{150}{250} = 0,6$$

Long Time Band

Dipilih LT band = 4,5

Short Time Pickup

LRC < Iset < 0,8 x Isc minimum

855,6 < Iset < 0,8 x 32010

855,6 < Iset < 25608

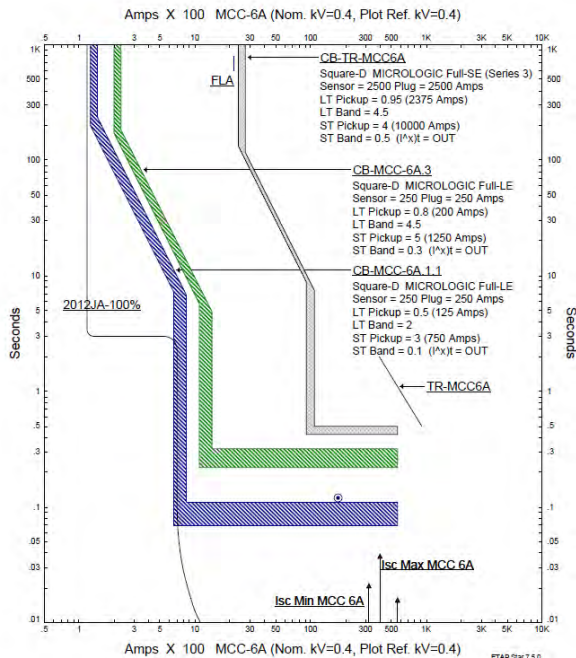
Dipilih Iset = 1000 A

$$\text{ST pickup} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = \frac{1000}{250} = 4$$

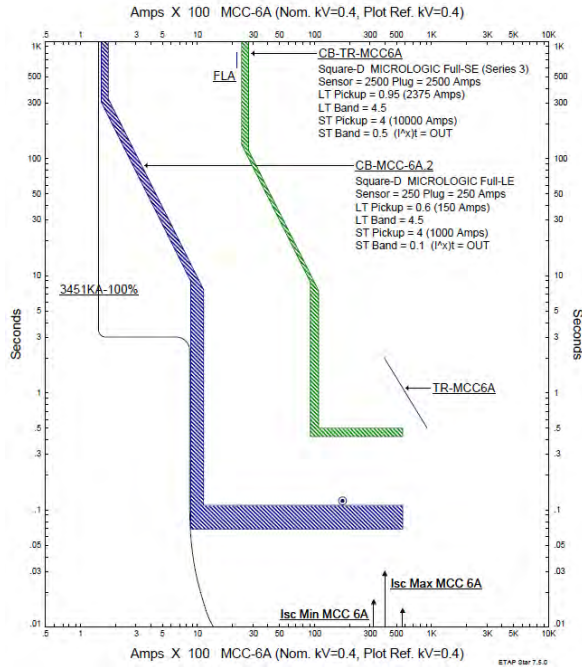
Short Time Band

Dipilih ST band (*time delay*) = 0,1s

Gambar 4.15 adalah gambar plot koordinasi sistem pengaman setelah *reseting* tipikal 1a. Sedangkan untuk tipikal 1b terdapat pada gambar 4.16. Pada tabel 4.7 menunjukkan datil dari hasil simulasi *arc flash* pada kondisi *reseting*.



Gambar 4.15 Plot Kurva Koordinasi *Reseting*-Tipikal 1a



Gambar 4.16 Plot Kurva Koordinasi *Reseting*-Tipikal 1b

Tabel 4.7 Simulasi *Arc Flash* Kondisi *Reseting* Tipikal 1

ID	Arching Current (Ia)	Incident Energi (cal/cm ²)	Protection Boundary (m)	Katagori PPE
Terminal motor 2012JA	20,07	10,826	1,373	2
Terminal motor 3451KA	20,07	10,826	1,373	2
MCC-6A.1	17,8	25,711	2,958	3
MCC-6A	17,8	40,174	3,883	4

Perhitungan insiden energi *arc flash* secara manual menggunakan Standar IEEE 1584-2002 adalah sebagai berikut;

a. Terminal Motor 2012JA

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 39,86 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 13 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 39,86) - 0,00304 \times 13 (\lg 39,86)$$

$$\lg I_a = 1,302$$

$$I_a = 20,069 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \lg 20,069 + 0,0011 \times 13}$$

$$E_n = 7,367$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 7,367 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right)$$

$$E = 45,272 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 10,865 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Kategori (NFPA 70E 2015)} = 2$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 7,367 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 1375,740 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,375 \text{ m}$$

b. Bus MCC-6A.1

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 39,86 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 25 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 39,86) - 0,00304 \times 25 (\lg 39,86)$$

$$\lg I_a = 1,250$$

$$I_a = 17,802 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \lg 17,802 + 0,0011 \times 25}$$

$$E_n = 6,671$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 6,6718 \left(\frac{0,32}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right)$$

$$E = 107,532 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 25,807 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 3$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 6,671 \left(\frac{0,32}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 2965,479 \text{ mm}$$

$$D_B = 2,965 \text{ m}$$

c. Bus MCC-6A

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 39,86 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 25 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 39,86) - 0,00304 \times 25 (\lg 39,86)$$

$$\lg I_a = 1,250$$

$$I_a = 17,802 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \lg 17,802 + 0,0011 \times 25}$$

$$E_n = 6,671$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 6,671 \left(\frac{0,5}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right)$$

$$E = 168,019 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 40,324 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 4$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 6,671 \left(\frac{0,5}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 3892,816 \text{ mm}$$

$$D_B = 3,892 \text{ m}$$

d. Terminal Motor 3451KA

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 39,86 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 13 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 39,86) - 0,00304 \times 13 (\lg 39,86)$$

$$\lg I_a = 1,3025$$

$$I_a = 20,069 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \lg 20,069 + 0,0011 \times 13}$$

$$E_n = 7,367$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 7,367 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right)$$

$$E = 45,272 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 10,865 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 2$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 7,367 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 1375,740 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,375 \text{ m}$$

4.5.2 Simulasi Koordinasi Pengaman *Resetting*-Tipikal 2

a. CB-MCC-29/4.1.1

FLA motor WTR908	: 116,8 A
<i>Locked rotor current</i> (LRC)	: 600%
Isc minimum	: 26,26 kA
Isc maksimum	: 33,99 kA
<i>Manufacture</i>	: Square-D
<i>Type</i>	: Micrologic full-LE
<i>Sensor</i>	: 250
<i>Plug</i>	: 250
<i>Setting arus LT picup</i>	: 125; 150; 175; 187,5; 200; 225; 237,5; 250
<i>Setting arus ST picup</i>	: 500; 625; 750; 1000; 1250; 1500; 1750; 2000

Long Time Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 116,8 < \text{Iset} < 1,4 \times 116,8$$

$$122,64 < \text{Iset} < 163,25$$

$$\text{Dipilih Iset} = 125 \text{ A}$$

$$\text{LT pickup} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = \frac{125}{250} = 0,5$$

Long Time Band

$$\text{Dipilih LT band} = 3$$

Short Time Pickup

$$\text{LRC} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc minimum}$$

$$700,8 < \text{Iset} < 0,8 \times 26260$$

$$700,8 < \text{Iset} < 21008$$

$$\text{Dipilih Iset} = 750 \text{ A}$$

$$\text{ST pickup} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = \frac{750}{250} = 3$$

Short Time Band

Dipilih ST band (*time delay*) = 0,1s

b. CB-MCC-29/4.3

FLA	: 116,8 + 116,8 = 233,6 A
Locked rotor current (LRC)	: 600%
Isc minimum	: 26,26 kA
Isc maksimum	: 33,99 kA
Manufacture	: Square-D
Type	: Micrologic full-LE
Sensor	: 250
Plug	: 250
Setting arus LT pickup	: 125; 150; 175; 187,5; 200; 225; 237,5; 250
Setting arus ST pickup	: 500; 625; 750; 1000; 1250; 1500; 1750; 2000

Long Time Pickup

1,05 x FLA < Iset < 1,4 x FLA
 1,05 x 233,6 < Iset < 1,4 x 233,6
 245,28 < Iset < 327,04

Dipilih Iset = 250 A

$$\text{LT pickup} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = \frac{250}{250} = 1$$

Long Time Band

Dipilih LT band = 6

Short Time Pickup

LRC < Iset < 0,8 x Isc minimum
 1401,6 < Iset < 0,8 x 26260
 1401,6 < Iset < 21008

Dipilih Iset = 1500 A

$$\text{ST pickup} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = \frac{1500}{250} = 6$$

Short Time Band

Dipilih ST band (*time delay*) = 0,3s

c. CB-MCC-29/4.2

FLA motor M-PP12 : 116,8 A
Locked rotor current (LRC) : 600%
Isc minimum : 26,26 kA
Isc maksimum : 33,99 kA
Manufacture : Square-D
Type : Micrologic full-LE
Sensor : 250
Plug : 250
Setting arus LT pickup : 125; 150; 175; 187,5; 200; 225;
237,5; 250
Setting arus ST pickup : 500; 625; 750; 1000; 1250; 1500;
1750; 2000

Long Time Pickup

$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$
 $1,05 \times 116,8 < \text{Iset} < 1,4 \times 116,8$
 $122,64 < \text{Iset} < 163,25$
Dipilih Iset = 125 A

$$\text{LT pickup} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = \frac{125}{250} = 0,5$$

Long Time Band

Dipilih LT band = 3

Short Time Pickup

$\text{LRC} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc minimum}$
 $700,8 < \text{Iset} < 0,8 \times 26260$
 $700,8 < \text{Iset} < 21008$
Dipilih Iset = 750 A

$$\text{ST pickup} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = \frac{750}{250} = 3$$

Short Time Band

Dipilih ST band (*time delay*) = 0,1s

d. CB-TR-MCC-29/4

FLA TR-MCC6A	: 2309 A (sekunder trafo)
Isc minimum	: 26,26 kA
Isc maksimum	: 33,99 kA
Manufacture	: Square-D
Type	: Micrologic full-SE
Sensor	: 2500
Plug	: 2500
Setting arus LT pickup	: 1250; 1500; 1750; 1875; 2000; 2250; 2375; 2500
Setting arus ST pickup	: 5000; 6250; 7500; 10000; 12500; 15000; 20000; 25000

Long Time Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 2309 < \text{Iset} < 1,4 \times 2309$$

$$2424,45 < \text{Iset} < 3232,6$$

$$\text{Dipilih Iset} = 2500 \text{ A}$$

$$\text{LT pickup} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = \frac{2500}{2500} = 1$$

Long Time Band

$$\text{Dipilih LT band} = 7$$

Short Time Pickup

$$\text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc minimum}$$

$$\text{Iset} < 0,8 \times 26260$$

$$9236 < \text{Iset} < 21008$$

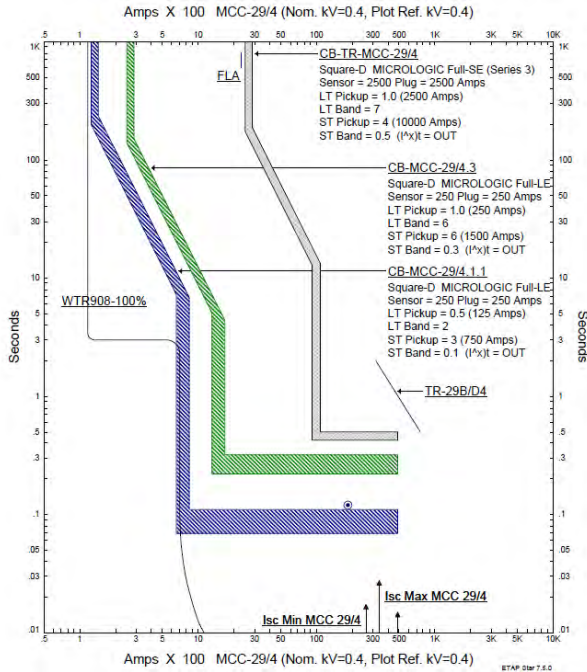
$$\text{Dipilih Iset} = 10000 \text{ A}$$

$$\text{ST pickup} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = \frac{10000}{2500} = 4$$

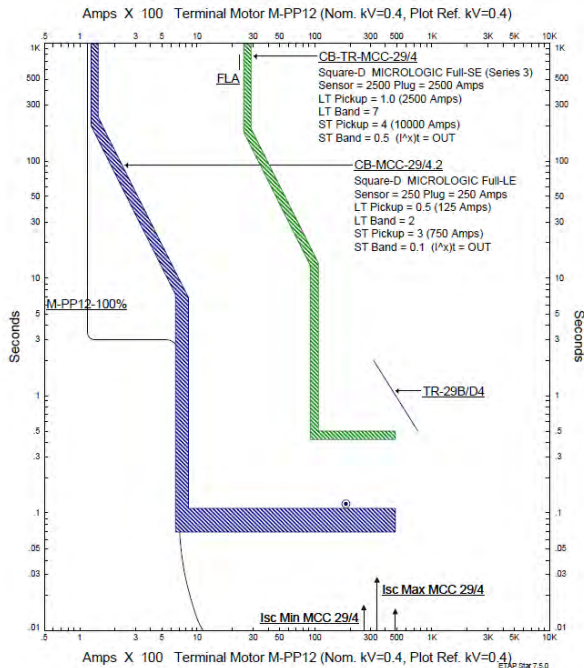
Short Time Band

$$\text{Dipilih ST band (time delay)} = 0,5\text{s}$$

Hasil plot koordinasi sistem pengaman setelah *reseting* tipikal 2a dapat dilihat pada gambar 4.17. Sedangkan untuk tipikal 2b terdapat pada gambar 4.18. Pada tabel 4.8 menunjukkan datil dari hasil simulasi *arc flash* pada kondisi *reseting*.



Gambar 4.17 Plot Kurva Koordinasi *Reseting*-Tipikal 2a



Gambar 4.18 Plot Kurva Koordinasi *Reseting*-Tipikal 2b

Tabel 4.8 Simulasi *Arc Flash* Kondisi *Reseting* Tipikal 2

ID	Arching Current (Ia)	Incident Energi (cal/cm2)	Protection Boundary (m)	Katagori PPE
Terminal motor WTR908	17,54	7,214	1,121	1
Terminal motor M-PP12	17,54	7,214	1,121	1
MCC-29/4.1	15,65	17,241	2,319	2
MCC-29/4	15,65	26,94	3,044	3

Perhitungan insiden energi *arc flash* secara manual menggunakan standar IEEE 1584-2002 adalah sebagai berikut;

a. Terminal Motor WTR908

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 33,99 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 13 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 33,99) - 0,00304 \times 13 (\lg 33,99)$$

$$\lg I_a = 1,244$$

$$I_a = 17,539 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 - 0,113 + 1,081 \lg 17,539 + 0,0011 \times 13}$$

$$E_n = 4,909$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 4,909 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right)$$

$$E = 30,168 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 7,240 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 1$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 4,909 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 1123,100 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,123 \text{ m}$$

b. Bus MCC-29/4.1

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 33,99 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 25 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 33,99) - 0,00304 \times 25 (\lg 33,99)$$

$$\lg I_a = 1,194$$

$$I_a = 15,648 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 - 0,113 + 1,081 \lg 15,648 + 0,0011 \times 25}$$

$$E_n = 4,474$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 4,474 \left(\frac{0,32}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right)$$

$$E = 72,109 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 17,306 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 2$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 4,474 \left(\frac{0,32}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 2324,865 \text{ mm}$$

$$D_B = 2,348 \text{ m}$$

c. Bus MCC-29/4

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 33,99 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 25 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 33,99) - 0,00304 \times 25 (\lg 33,99)$$

$$\lg I_a = 1,194$$

$$I_a = 15,648 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 - 0,113 + 1,081 \lg 15,648 + 0,0011 \times 25}$$

$$E_n = 4,474$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 4,474 \left(\frac{0,5}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right)$$

$$E = 112,671 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 27,041 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 3$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 4,474 \left(\frac{0,5}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 3051,468 \text{ mm}$$

$$D_B = 3,051 \text{ m}$$

d. Terminal Motor M-PP12

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 33,99 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 13 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 33,99) - 0,00304 \times 13 (\lg 33,99)$$

$$\lg I_a = 1,244$$

$$I_a = 17,539 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 - 0,113 + 1,081 \lg 17,539 + 0,0011 \times 13}$$

$$E_n = 4,909$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 4,909 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right)$$

$$E = 30,168 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 7,240 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 1$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 4,909 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 1123,100 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,123 \text{ m}$$

4.5.3 Simulasi Koordinasi Sistem Pengaman *Resetting*-Tipikal 3

a. CB-MCC-4.2

FLA motor KMPSR2	: 98,82 A
<i>Locked rotor current</i> (LRC)	: 600%
Isc minimum	: 31,42 kA
Isc maksimum	: 38,99kA
<i>Manufacture</i>	: Square-D
<i>Type</i>	: Micrologic full-LE
<i>Sensor</i>	: 250
<i>Plug</i>	: 250
<i>Setting arus LT pickup</i>	: 125; 150; 175; 187,5; 200; 225; 237,5; 250
<i>Setting arus ST pickup</i>	: 500; 625; 750; 1000; 1250; 1500; 1750; 2000

Long Time Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < \text{Iset} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 98,82 < \text{Iset} < 1,4 \times 98,82$$

$$103,76 < \text{Iset} < 138,34$$

$$\text{Dipilih Iset} = 125 \text{ A}$$

$$\text{LT pickup} = \frac{\text{Iset}}{\text{Rating plug}} = \frac{125}{250} = 0,5$$

Long Time Band

$$\text{Dipilih LT band} = 2$$

Short Time Pickup

$$\text{LRC} < \text{Iset} < 0,8 \times \text{Isc minimum}$$

$$592,92 < \text{Iset} < 0,8 \times 31420$$

$$592,92 < \text{Iset} < 25136$$

$$\text{Dipilih Iset} = 625 \text{ A}$$

$$\text{ST pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{Rating plug}} = \frac{625}{250} = 2,5$$

Short Time Band

Dipilih ST band (*time delay*) = 0,1s

b. CB-TR-MCC-4

FLA motor TR 3	: 2887 A (sekunder trafo)
<i>Locked rotor current (LRC)</i>	: 600%
Isc minimum	: 31,42 kA
Isc maksimum	: 38,99 kA
<i>Manufacture</i>	: Square-D
<i>Type</i>	: Micrologic full-SE
<i>Sensor</i>	: 4000
<i>Plug</i>	: 4000
<i>Setting arus LT pickup</i>	: 2000; 2400; 2800; 3000; 3200; 3600; 4000
<i>Setting arus ST pickup</i>	: 8000; 10000; 12000; 16000; 20000; 24000; 32000; 40000

Long Time Pickup

$$1,05 \times \text{FLA} < I_{\text{set}} < 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 2887 < I_{\text{set}} < 1,4 \times 2887$$

$$3031,35 < I_{\text{set}} < 4041,8$$

Dipilih Iset = 3200 A

$$\text{LT pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{Rating plug}} = \frac{3200}{4000} = 0,8$$

Long Time Band

Dipilih LT band = 3

Short Time Pickup

$$I_{\text{set}} < 0,8 \times \text{Isc minimum}$$

$$I_{\text{set}} < 0,8 \times 31420$$

$$I_{\text{set}} < 25136$$

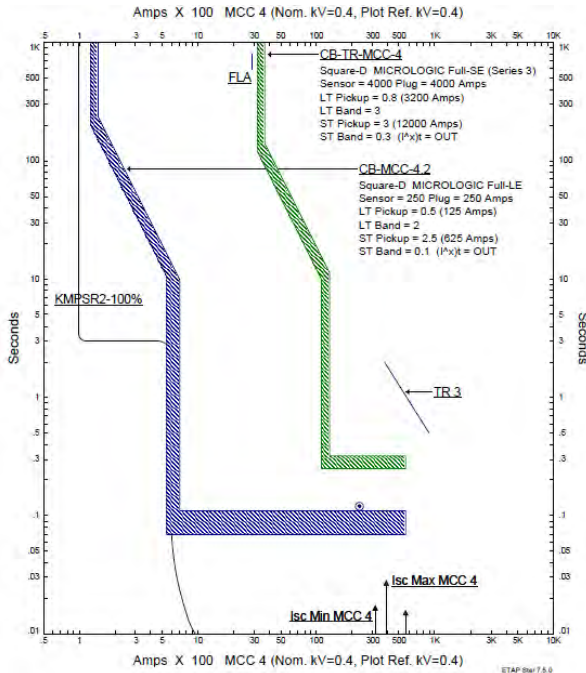
Dipilih Iset = 12000 A

$$\text{ST pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{Rating plug}} = \frac{12000}{4000} = 3$$

Short Time Band

Dipilih ST band (*time delay*) = 0,3s

Hasil plot koordinasi sistem pengaman setelah *reseting* tipikal 3 dapat dilihat pada gambar 4.19. Tabel 4.9 menunjukkan datil dari hasil simulasi *arc flash* pada kondisi *reseting*.



Gambar 4.19 Plot Kurva Koordinasi *Reseting*-Tipikal 3

Tabel 4.9 Simulasi *Arc Flash* Kondisi *Reseting* Tipikal 3

ID	Arching Current (Ia)	Incident Energi (cal/cm ²)	Protection Boundary (m)	Katagori PPE
Terminal motor KMPSR2	19,7	8,178	1,193	2
MCC 4	17,49	19,440	2,495	2

Perhitungan insiden energi *arc flash* secara manual menggunakan standar IEEE 1584-2002 adalah sebagai berikut;

a. Terminal Motor KMPSR2

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 38,99 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 13 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 38,99) - 0,00304 \times 13 (\lg 38,99)$$

$$\lg I_a = 1,294$$

$$I_a = 19,689 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 - 0,113 + 1,081 \lg 19,689 + 0,0011 \times 13}$$

$$E_n = 5,566$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 5,566 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right)$$

$$E = 34,203 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 8,208 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 2$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 5,566 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 1195,7876 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,195 \text{ m}$$

b. Bus MCC 4

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 38,99 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 25 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 38,99) - 0,00304 \times 25 (\lg 38,99)$$

$$\lg I_a = 1,242$$

$$I_a = 17,486 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 - 0,113 + 1,081 \lg 17,486 + 0,0011 \times 25}$$

$$E_n = 5,044$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 5,044 \left(\frac{0,32}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right)$$

$$E = 81,311 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 19,514 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 2$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 5,044 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 2501,391 \text{ mm}$$

$$D_B = 2,501 \text{ m}$$

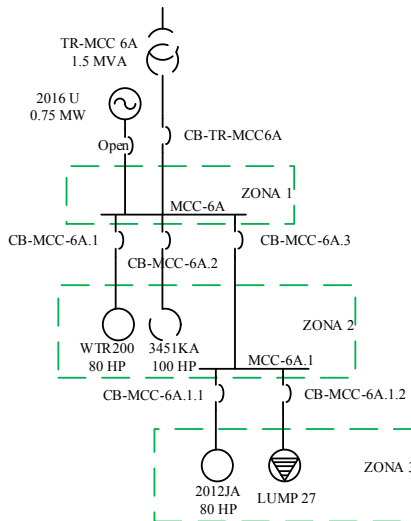
4.6 Implementasi *Zone Selective Interlocking*

Insiden energi *arc flash* dapat direduksi menggunakan metode-metode yang ada saat ini, salah satu metode yang ada yaitu ZSI. Implementasi ZSI dilakukan karena nilai insiden energi pada kondisi *reseting* masih cukup tinggi pada level tegangan 0,4 kV. Simulasi ZSI menggunakan *software easypower* 9.7. Hasil simulasi ini nantinya akan digunakan sebagai acuan untuk menentukan katagori insiden energi setelah implementasi skema ZSI.

4.7 Implementasi *Zone Selective Interlocking* Tipikal 1

Permodelan sistem kelistrikan tegangan rendah pada tipikal 1 dilakukan dengan membagi area zona pengamanan ZSI. Setiap zona akan diamankan oleh CB yang ada di daerah pengamanannya. Tipikal 1

terdapat pada MCC-6A dengan pembagian zona pengamanan seperti terlihat pada gambar 4.20.



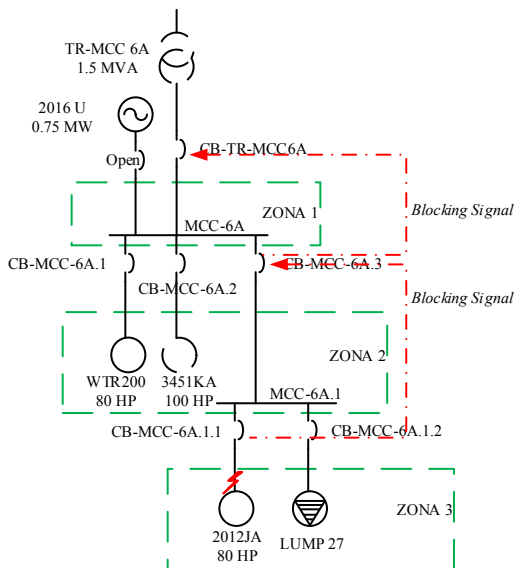
Gambar 4.20 Zona Pengamanan ZSI Tipikal 1

Pengujian metode ZSI dilakukan dengan memodelkan gangguan pada titik-titik zona pengamanan yaitu gangguan pada motor 2012JA, gangguan pada bus MCC-6A.1, gangguan pada bus MCC-6A, dan gangguan pada motor 3451KA. Simulasi pengurangan insiden energi *arc flash* dengan menggunakan fasilitas *mode on* dan *mode of* ZSI pada *software easypower 9.7*. ZSI bekerja sesuai keputusan untuk *trip* dengan atau tanpa waktu delay yang tergantung pada lokasi gangguan *blocking signal*. Saat terjadi gangguan maka CB yang merasakan gangguan mengirimkan *blocking signal* pada CB yang terdapat pada sisi bagian atas untuk menahan waktu ZSI dan mengaktifkan *time delay*. Sedangkan ketika CB yang merasakan gangguan namun tidak menerima *blocking signal* akan *trip* seketika sesuai dengan waktu ZSI tanpa waktu delay koordinasi proteksi.

4.7.1 Implementasi Zone Selective Interlocking Tipikal 1 Gangguan Pada Motor 2012JA

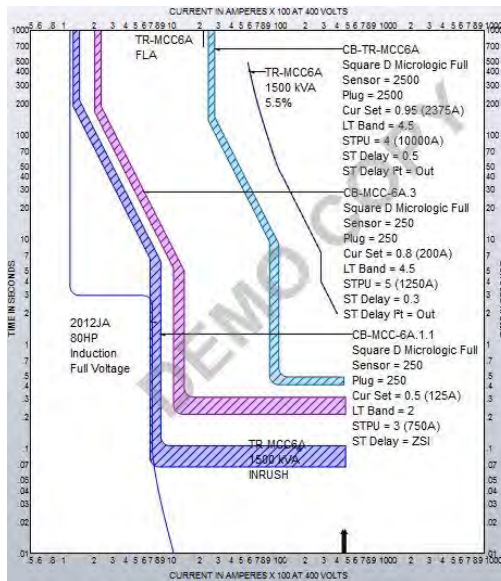
Ketika terjadi gangguan pada motor 2012JA seperti terlihat pada gambar 4.21, maka 3 CB dengan zona pengamanan berbeda merasakan

gangguan yaitu CB-MCC-6A.1.1, CB-MCC-6A.3, dan CB-TR-MCC-6A. CB-MCC-6A.1.1 mengirimkan *blocking signal* untuk CB-MCC-6A.3 supaya menahan waktu kerja ZSI dan mengaktifkan *preset time delay* sebesar 0,3s sehingga menjadi *backup* CB-MCC-6A.1.1. CB-MCC-6A.3 juga mengirimkan *blocking signal* untuk CB-TR-MCC-6A untuk menahan waktu kerja ZSI dan bekerja pada kondisi *seting time delay* sebesar 0,5s dan difungsikan sebagai *backup* CB-MCC-6A.3.



Gambar 4.21 Gangguan Pada Motor 2012JA

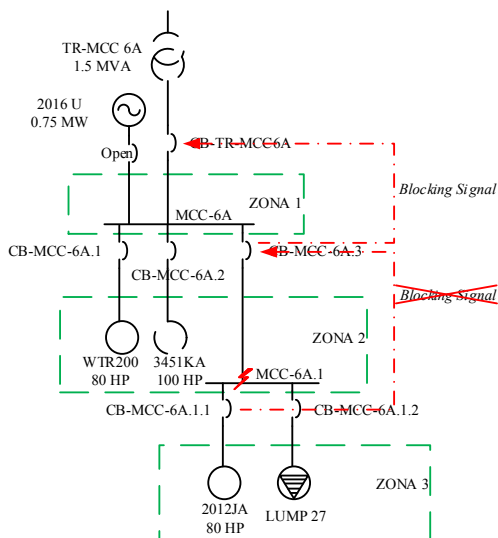
Karena CB-MCC-6A.1.1 merasakan gangguan dan tidak mendapatkan *blocking signal*, maka CB-MCC-6A.1.1 akan mengaktifkan waktu ZSI dan *trip* tanpa *preset time delay* sesuai dengan waktu *clearing time* micologic full-LE sebesar 0,11s. Sedangkan CB-MCC-6A.3 akan tetap tertutup karena gangguan telah dihilangkan sebelum *time delay* berakhir. Plot kurva TCC gangguan pada motor 2012JA dapat dilihat pada gambar 4.2.



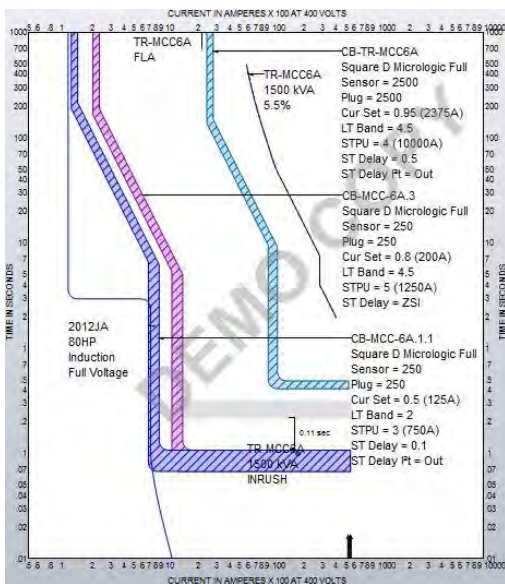
Gambar 4.22 Plot Kurva TCC Gangguan Pada Motor 2012JA

4.7.2 Implementasi Zone Selective Interlocking Tipikal 1 Gangguan Pada Bus MCC-6A.1

Pada saat bus MCC-6A.1 mengalami gangguan seperti terlihat pada gambar 4.23, pengaman zona 2 dan pengaman zona 1 merasakan adanya gangguan. CB-MCC-6A.1.1 tidak dapat merasakan gangguan karena diluar jangkauan zona pengamanannya. Sehingga pengaman zona 3 tidak mengirim *blocking signal* yang mengakibatkan pengaman zona 2 yaitu CB-MCC-6A.3 mengaktifkan waktu ZSI dan *trip* tanpa *preset time delay* sesuai dengan waktu *clearing time* micologic full-LE sebesar 0,11s. Pada saat merasakan gangguan, CB-MCC-6A.3 juga mengirimkan *blocking signal* untuk CB-TR-MCC-6A untuk menahan waktu kerja ZSI dan bekerja pada kondisi *seting time delay* sebesar 0,5s dan difungsikan sebagai *backup* CB-MCC-6A.3. CB-TR-MCC-6A akan tetap tertutup karena gangguan telah dihilangkan sebelum *time delay* berakhir. Plot kurva TCC pada gangguan ini dapat dilihat pada gambar 4.24, dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa ketika CB-MCC-6A.3 *trip* dengan waktu ZSI terjadi perubahan kurva pengamananan dengan selisih sebesar 0,11s dari kurva awal sebelum ZSI.

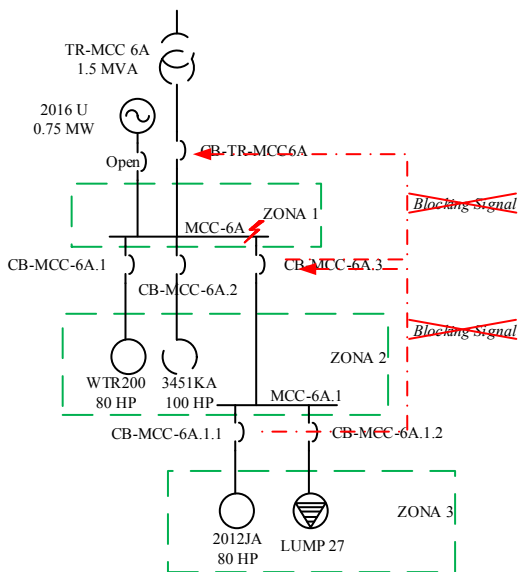


Gambar 4.23 Gangguan Pada Bus MCC-6A.1



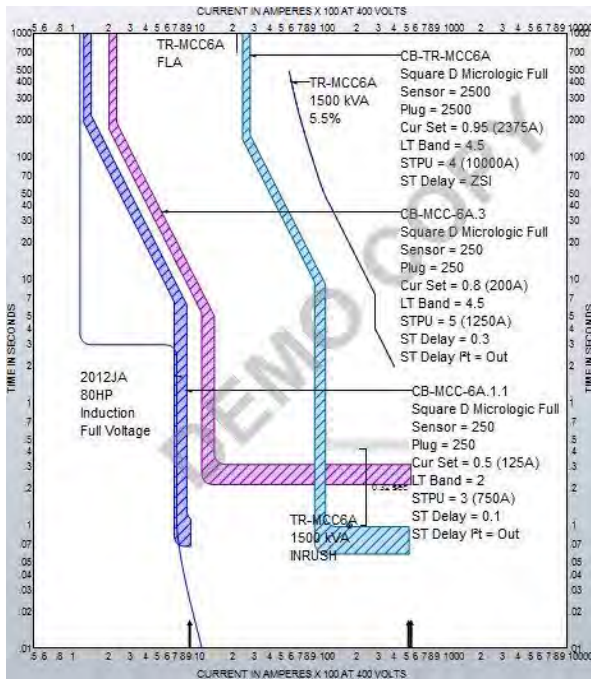
Gambar 4.24 Plot Kurva TCC Gangguan Pada Bus MCC-6A.1

Ketika terjadi gangguan pada bus MCC-6A seperti terlihat pada gambar 4.25, CB yang merasakan gangguan adalah CB-TR-MCC-6A yang merupakan pengaman area zona 1.



Gambar 4.25 Gangguan Pada Bus MCC-6A

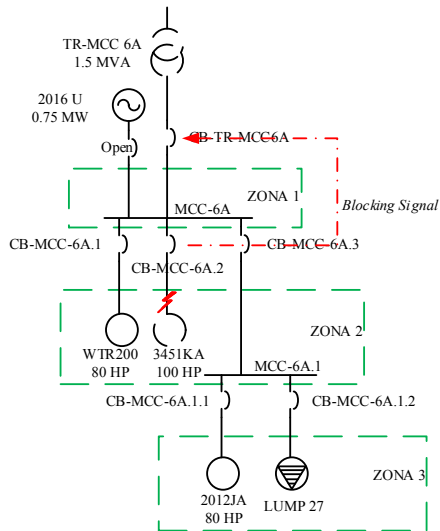
CB-TR-MCC-6A adalah pengaman terakir yang akan mengaktifkan waktu ZSI apabila tidak mendapatkan *blocking signal* dari pengaman zona 2 yaitu CB-MCC-6A.3. Karena gangguan terjadi di luar daerah pengamanan CB-MCC-6A.1.1 dan CB-MCC-6A.3 maka kedua CB tersebut tidak dapat merasakan adanya gangguan yang mengakibatkan tidak adanya *blocking signal* yang dikirimkan pada CB-TR-MCC-6A. Maka CB-TR-MCC-6A mengaktifkan waktu ZSI dan *trip* tanpa *preset time delay* sesuai dengan waktu *clearing time* micologic full-SE sebesar 0,1s. Plot kurva TCC pada gangguan bus MCC-6A.1 dapat dilihat pada gambar 4.26, dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa CB-TR-MCC-6A *trip* dengan waktu ZSI, terjadi perubahan kurva pengamanan dengan selisih sebesar 0,32s dari kurva awal sebelum ZSI.



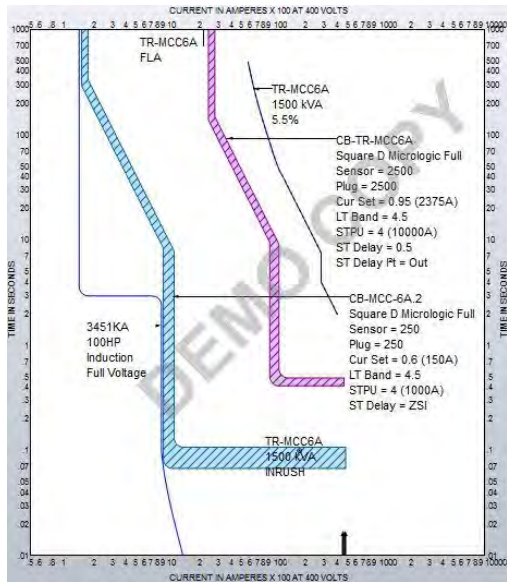
Gambar 4.26 Plot Kurva TCC Gangguan Pada Bus MCC-6A.1

4.7.4 Implementasi Zone Selective Interlocking Tipikal 1 Gangguan Pada Motor 3451KA

Ketika terjadi gangguan pada motor 3451KA seperti terlihat pada gambar 4.27, maka 2 CB dengan zona pengamanan berbeda merasakan gangguan yaitu CB-MCC-6A.2 dan CB-TR-MCC-6A. CB-MCC-6A.2 mengirimkan *blocking signal* untuk CB-TR-MCC-6A supaya menahan waktu kerja ZSI dan mengaktifkan *time delay* sebesar 0,5s sehingga menjadi *backup* CB-MCC-6A.2. Karena CB-MCC-6A.2 merasakan gangguan dan tidak mendapatkan *blocking signal* maka CB-MCC-6A.2 mengaktifkan waktu ZSI dan *trip* tanpa *preset time delay* sesuai dengan waktu *clearing time* micologic full-LE sebesar 0,11s. Sedangkan CB-TR-MCC-6A akan tetap tertutup karena gangguan telah dihilangkan sebelum *time delay* berakhir dalam rentang waktu 0,5s. Plot kurva TCC pada gangguan motor 3451KA dapat dilihat pada gambar 4.28.



Gambar 4.27 Gangguan Pada Motor 3451KA



Gambar 4.28 Plot Kurva TCC Gangguan Pada Motor 3451KA

4.7.5 Implementasi Zone Selective Interlocking Tipikal 1 Nilai Insiden Energi Arc Flash

Tabel 4.10 adalah hasil simulasi insiden energi *arc flash* setelah implementasi ZSI.

Tabel 4.10 Simulasi *Arc Flash* Metode ZSITipikal 1

ID	Arching Current (Ia)	Incident Energi (cal/cm2)	Protection Boundary (m)	Katagori PPE
Terminal motor 2012JA	20,07	10,826	1,373	2
Terminal motor 3451KA	20,07	10,826	1,373	2
MCC-6A.1	17,80	8,8	1,541	2
MCC-6A	17,80	8	1,454	2

Berikut adalah perhitungan insiden energi *arc flash* secara manual menggunakan standar IEEE 1584-2002.

a. Terminal Motor 2012JA

Menentukan Nilai Ia

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 39,86 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 13 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 39,86) - 0,00304 \times 13 (\lg 39,86)$$

$$\lg I_a = 1,302$$

$$I_a = 20,069 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai Incident Energy Arc Flash

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \lg 20,069 + 0,0011 \times 13}$$

$$E_n = 7,367$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 7,367 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right)$$

$$E = 45,272 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 10,865 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 2$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 7,367 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 1375,740 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,375 \text{ m}$$

b. Bus MCC-6A.1

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 39,86 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 25 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 39,86) - 0,00304 \times 25 (\lg 39,86)$$

$$\lg I_a = 1,250$$

$$I_a = 17,802 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \lg 17,802 + 0,0011 \times 25}$$

$$E_n = 6,671$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 6,671 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right)$$

$$E = 36,964 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 8,871 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 2$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 6,671 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 1547,200 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,547 \text{ m}$$

c. Bus MCC-6A

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 39,86 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 25 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 39,86) - 0,00304 \times 25 (\lg 39,86)$$

$$\lg I_a = 1,250$$

$$I_a = 17,802 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \lg 17,802 + 0,0011 \times 25}$$

$$E_n = 6,671$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 6,671 \left(\frac{0,1}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right)$$

$$E = 33,603 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 8,064 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Kategori (NFPA 70E 2015)} = 2$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 6,671 \left(\frac{0,1}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 1459,89 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,459 \text{ m}$$

d. Terminal Motor 3451KA

Menentukan Nilai I_a

$$\begin{aligned}\lg I_a &= K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - \\ &\quad 0,00304 G (\lg I_{bf}) \\ \lg I_a &= -0,097 + 0,662 \times \lg 39,86 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 13 + \\ &\quad 0,5588 \times 0,4 (\lg 39,86) - 0,00304 \times 13 (\lg 39,86) \\ \lg I_a &= 1,3025 \\ I_a &= 20,069 \text{ kA}\end{aligned}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$\begin{aligned}E_n &= 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G} \\ E_n &= 10^{-0,555 + 0 + 1,081 \lg 20,069 + 0,0011 \times 13} \\ E_n &= 7,367\end{aligned}$$

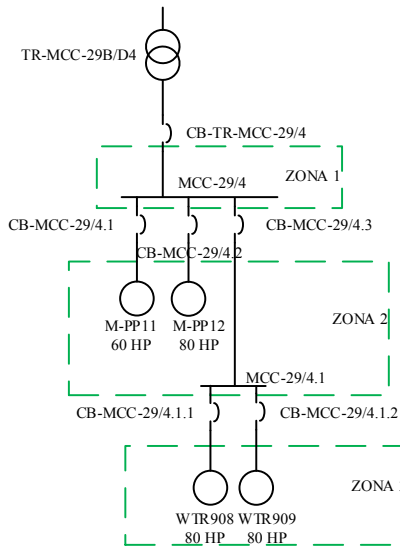
$$\begin{aligned}E &= 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right) \\ E &= 4,184 \times 1,5 \times 7,367 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right) \\ E &= 45,272 \text{ J/cm}^2 \times 0,24 \\ E &= 10,865 \text{ cal/cm}^2 \\ \text{Jarak kerja} &= 45,72 \text{ cm} \\ \text{Katagori (NFPA 70E 2015)} &= 2\end{aligned}$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$\begin{aligned}D_B &= \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}} \\ D_B &= \left[4,184 \times 1,5 \times 7,367 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \\ D_B &= 1375,740 \text{ mm} \\ D_B &= 1,375 \text{ m}\end{aligned}$$

4.8 Implementasi *Zone Selective Interlocking* Tipikal 2

Pengujian metode ZSI tipikal 2 dilakukan dengan memodelkan gangguan pada titik-titik zona pengamanan yaitu gangguan pada motor WTR908, gangguan pada bus MCC-29/4.1, gangguan pada bus MCC-29/4, dan gangguan pada motor M-PP12. Pembagian area zona pengamanan pada tipikal 2 ini dapat dilihat pada gambar 4.29.

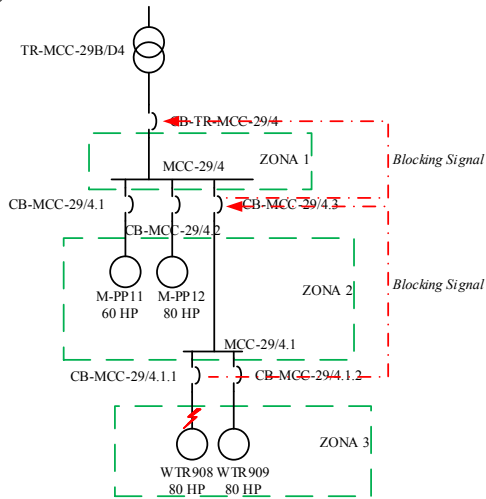


Gambar 4.29 Zona Pengamanan ZSI Tipikal 2

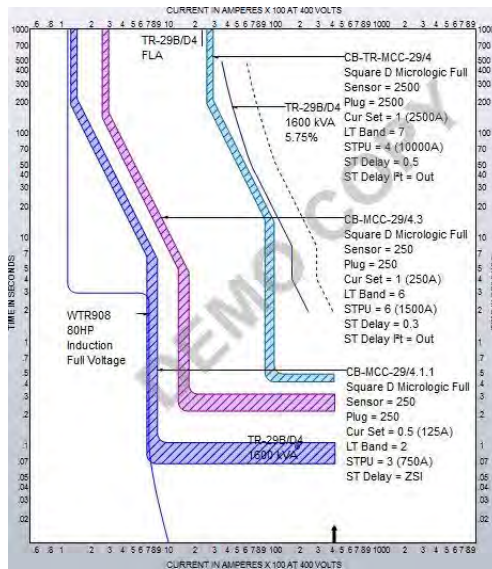
4.8.1 Implementasi *Zone Selective Interlocking* Tipikal 2 Gangguan Pada Motor WTR908

Pada saat ada gangguan pada motor WTR908 seperti terlihat pada gambar 4.30. Ketiga CB dengan zona pengamanan berbeda dapat merasakan gangguan yaitu CB-MCC-29/4.1.1, CB-MCC-29/4.3, dan CB-TR-MCC-29/4. Pada saat terjadi gangguan CB-MCC-29/4.1.1 mengirimkan *blocking signal* untuk CB-MCC-29/4.3 supaya menahan waktu kerja ZSI dan mengaktifkan *time delay* sebesar 0,3s sehingga menjadi *backup* CB-MCC-29/4.1.1 apabila terjadi kegagalan. Dalam waktu yang bersamaan CB-MCC-29/4.3 juga mengirimkan *blocking signal* untuk CB-TR-MCC-29/4 supaya menahan waktu kerja ZSI dan bekerja pada kondisi *seting time delay* sebesar 0,5s sehingga dapat difungsikan sebagai *backup* CB-MCC-29/4.3 apabila terjadi kegagalan. Karena CB-MCC-29/4.1.1 merasakan gangguan namun tidak mendapatkan *blocking signal* maka CB-MCC-29/4.1.1 mengaktifkan waktu ZSI dan *trip* tanpa *preset time delay* sesuai dengan waktu *clearing time* micologic full-LE sebesar 0,11s. Sedangkan CB-MCC-29/4.3 akan tetap tertutup karena gangguan telah dihilangkan sebelum *time delay* berakhir dalam

rentang waktu 0,3s. Plot kurva TCC gangguan pada motor WTR908 dapat dilihat pada gambar 4.30.



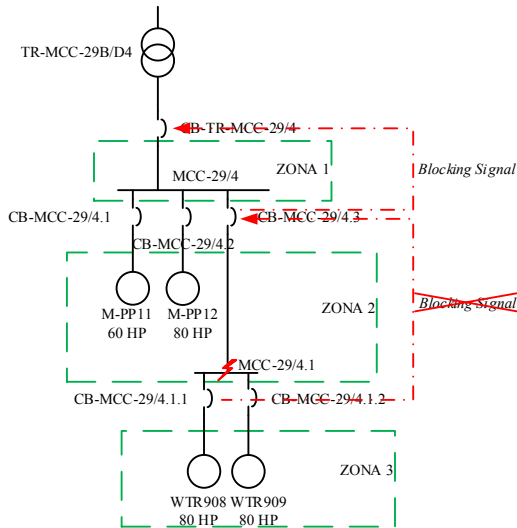
Gambar 4.30 Gangguan Pada Motor WTR908



Gambar 4.31 Plot Kurva TCC Gangguan Motor WTR908

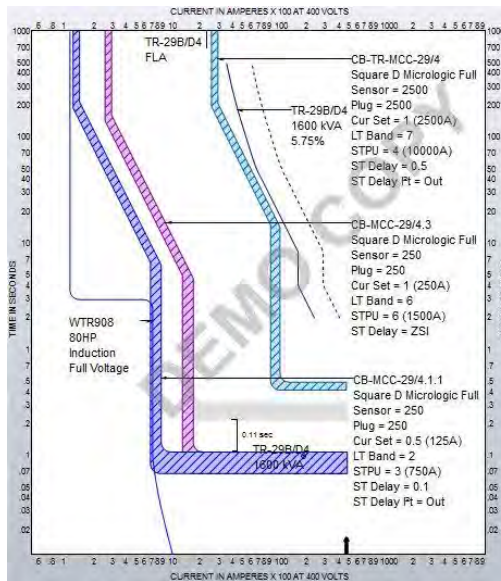
4.8.2 Implementasi *Zone Selective Interlocking* Tipikal 2 Gangguan Pada Bus MCC-29/4.1

Pada saat bus MCC-29/4.1 mengalami gangguan seperti terlihat pada gambar 4.32.



Gambar 4.32 Gangguan Pada Bus MCC-29/4.1

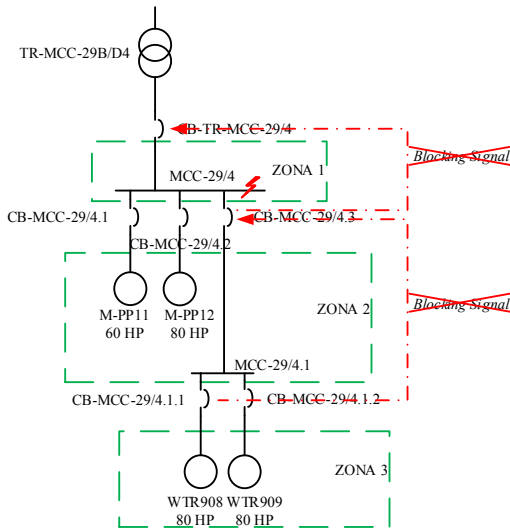
CB-MCC-29/4.1.1 tidak dapat merasakan gangguan karena diluar jangkauan zona pengamanannya. Sehingga pengaman zona 3 tidak mengirim *blocking signal*. Pada saat merasakan gangguan, CB-MCC-29/4.3 mengirimkan *blocking signal* untuk CB-TR-MCC-29/4 untuk menahan waktu kerja ZSI dan bekerja pada kondisi *seting time delay* sebesar 0,5s dan difungsikan sebagai *backup* CB-MCC-29/4.3. Karena CB-MCC-29/4.3 tidak mendapatkan *blocking signal*, mengakibatkan pengaman zona 2 yaitu CB-MCC-29/4.3 mengaktifkan waktu ZSI dan *trip* tanpa *preset time delay* sesuai dengan waktu *clearing time* micologic full-LE sebesar 0,11s. Sedangkan CB-TR-MCC-29/4 akan tetap tertutup karena gangguan telah dihilangkan sebelum *time delay* berakhir dalam rentang waktu 0,5s. Plot kurva TCC pada gangguan ini dapat dilihat pada gambar 4.33. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa ketika, CB-MCC-24/4.3 *trip* dengan waktu ZSI terjadi perubahan kurva pengamanan dengan selisih sebesar 0,11s dari kurva awal sebelum ZSI.



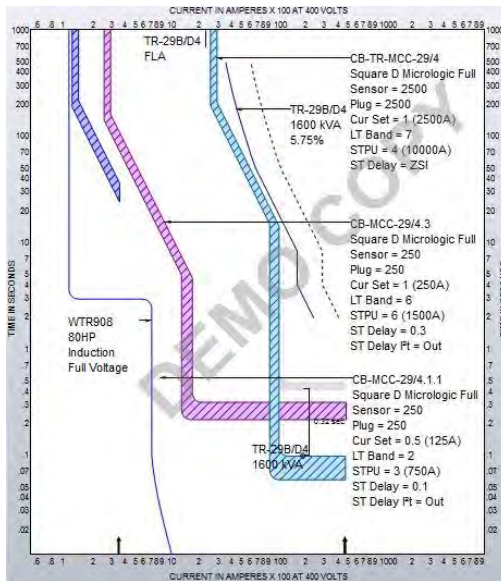
Gambar 4.33 Plot Kurva TCC Gangguan Bus MCC-29/4.1

4.8.3 Implementasi *Zone Selective Interlocking* Tipikal 2 Gangguan Pada Bus MCC-29/4

Ketika terjadi gangguan pada bus MCC-29/4 seperti terlihat pada gambar 4.34, CB yang merasakan gangguan adalah CB-TR-MCC-29/4 yang merupakan pengaman area zona 1. CB-TR-MCC-29/4 merupakan pengaman terakhir yang akan mengaktifkan waktu ZSI apabila tidak mendapatkan *blocking signal* dari pengaman zona 2 yaitu CB-MCC-24/4.3. Karena gangguan terjadi di luar daerah pengamanan CB-MCC-24/4.3 dan CB-MCC-24/4.1.1 maka kedua CB tersebut tidak dapat merasakan adanya gangguan yang mengakibatkan tidak adanya *blocking signal* yang dikirimkan pada CB-TR-MCC-29/4. Maka CB-TR-MCC-29/4 akan mengaktifkan waktu ZSI dan *trip* tanpa *preset time delay* (0,5s) sesuai dengan waktu *clearing time* micologic full-SE sebesar 0,1s. Plot kurva TCC pada gangguan bus MCC-29/4 dapat dilihat pada gambar 4.35, dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa CB-TR-MCC-29/4 *trip* dengan waktu ZSI, terjadi perubahan kurva pengamanan dengan selisih sebesar 0,32s dari kurva awal sebelum ZSI.



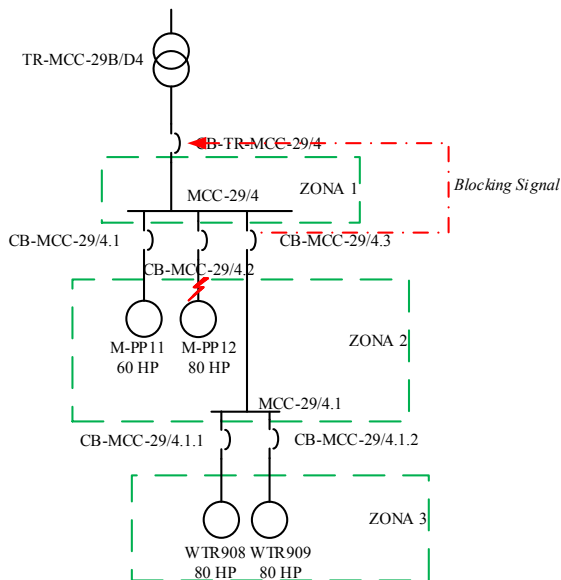
Gambar 4.34 Gangguan Pada Bus MCC-29/4



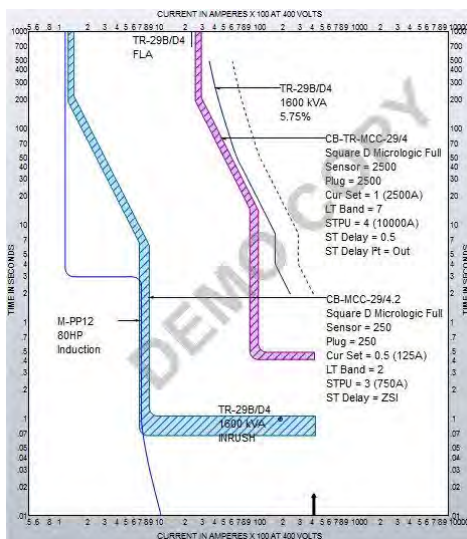
Gambar 4.35 Plot Kurva TCC Gangguan Bus MCC-29/4

4.8.4 Implementasi Zone Selective Interlocking Tipikal 2 Gangguan Pada Motor M-PP12

Pada kondisi gangguan ini, seperti terlihat pada gambar 4.36, maka 2 CB dengan zona pengamanan berbeda merasakan gangguan yaitu CB-MCC-24/4.2 dan CB-TR-MCC-29/4. CB-MCC-24/4.2 mengirimkan *blocking signal* untuk CB-TR-MCC-29/4 supaya menahan waktu kerja ZSI dan mengaktifkan *time delay* sebesar 0,5s sehingga menjadi *backup* zona pengamanan 2 yaitu CB-MCC-24/4.2. Karena CB-MCC-24/4.2 merasakan gangguan dan tidak mendapatkan *blocking signal* maka CB ini akan mengaktifkan waktu ZSI dan *trip* tanpa *preset time delay* sesuai dengan waktu *clearing time* micologic full-LE sebesar 0,11s. Sedangkan CB-TR-MCC-29/4 akan tetap tertutup karena gangguan telah dihilangkan sebelum *time delay* berakhir dalam rentang waktu 0,5s. Plot kurva TCC pada gangguan motor M-PP12 dapat dilihat pada gambar 4.37.



Gambar 4.36 Gangguan Pada Motor M-PP12



Gambar 4.37 Plot Kurva TCC Gangguan Motor M-PP12

4.8.5 Implementasi *Zone Selective Interlocking* Tipikal 2 Nilai Insiden Energi Arc Flash

Tabel 4.11 adalah hasil simulasi insiden energi *arc flash* setelah implementasi ZSI.

Tabel 4.11 Simulasi *Arc Flash* Kondisi Reseting Tipikal 2

ID	Arching Current (Ia)	Incident Energi (cal/cm ²)	Protection Boundary (m)	Katagori PPE
Terminal motor WTR908	17,54	7,214	1,121	1
Terminal motor M-PP12	17,54	7,214	1,121	1
MCC-29/4.1	15,647	5,9	1,209	1
MCC-29/4	15,647	5,4	1,141	1

Berikut adalah perhitungan insiden energi *arc flash* secara manual menggunakan standar IEEE 1584-2002.

a. Terminal Motor WTR908

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 33,99 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 13 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 33,99) - 0,00304 \times 13 (\lg 33,9)$$

$$\lg I_a = 1,244$$

$$I_a = 17,539 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 - 0,113 + 1,081 \lg 17,539 + 0,0011 \times 13}$$

$$E_n = 4,909$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 4,909 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right)$$

$$E = 30,168 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 7,240 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 1$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 4,909 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 1123,100 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,123 \text{ m}$$

b. Bus MCC-29/4.1

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 33,99 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 25 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 33,99) - 0,00304 \times 25 (\lg 33,99)$$

$$\lg I_a = 1,194$$

$$I_a = 15,648 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 - 0,113 + 1,081 \lg 15,648 + 0,0011 \times 25}$$

$$E_n = 4,474$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 4,474 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right)$$

$$E = 24,787 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 5,949 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 1$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 4,474 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 1212,806 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,212 \text{ m}$$

c. Bus MCC-29/4

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 33,99 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 25 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 33,99) - 0,00304 \times 25 (\lg 33,99)$$

$$\lg I_a = 1,194$$

$$I_a = 15,648 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 - 0,113 + 1,081 \lg 15,648 + 0,0011 \times 25}$$

$$E_n = 4,474$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 4,474 \left(\frac{0,1}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right)$$

$$E = 22,534 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 5,408 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 1$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 4,474 \left(\frac{0,1}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 1144,372 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,144 \text{ m}$$

d. Terminal Motor WTR908

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 33,99 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 13 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 33,99) - 0,00304 \times 13 (\lg 33,99)$$

$$\lg I_a = 1,244$$

$$I_a = 17,539 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 - 0,113 + 1,081 \lg 17,539 + 0,0011 \times 13}$$

$$E_n = 4,909$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 4,909 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right)$$

$$E = 30,168 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 7,240 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 1$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

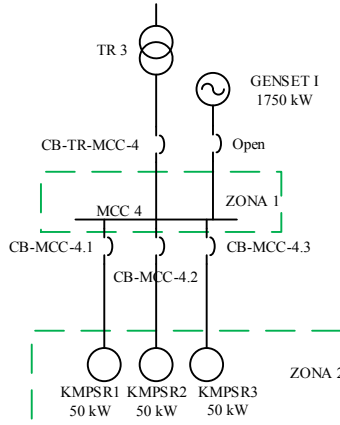
$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 4,909 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 1123,100 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,123 \text{ m}$$

4.9 Implementasi *Zone Selective Interlocking* Tipikal 3

Pengujian metode ZSI tipikal 3 dilakukan dengan memodelkan gangguan pada titik-titik zona pengamanan yaitu gangguan pada motor KMPSR2, dan gangguan pada bus MCC-4. Pembagian area zona pengamanan pada tipikal 2 ini dapat dilihat pada gambar 4.38.

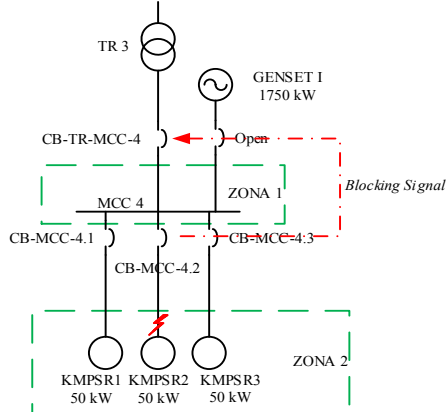


Gambar 4.38 Zona Pengamanan ZSI Tipikal 3

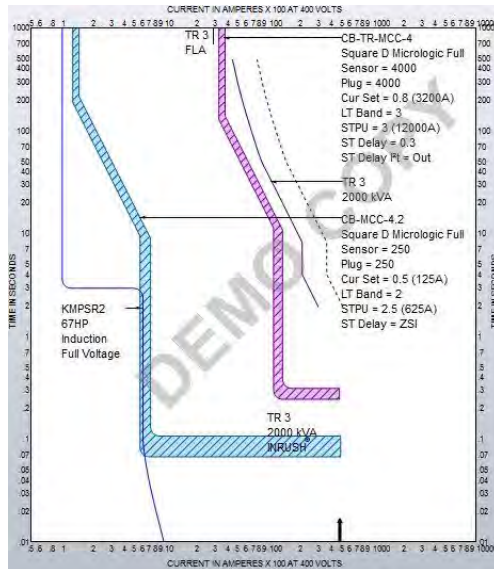
4.9.1 Implementasi *Zone Selective Interlocking* Tipikal 3 Gangguan Pada Motor KMPSR2

Pada kondisi gangguan ini, seperti terlihat pada gambar 4.39, maka 2 CB dengan zona pengamanan berbeda merasakan gangguan yaitu CB-MCC-4.2 dan CB-TR-MCC-4. CB-MCC-4.2 mengirimkan *blocking signal* untuk CB-TR-MCC-4 supaya menahan waktu kerja ZSI dan mengaktifkan *time delay* sebesar 0,3s sehingga menjadi *backup* zona pengamanan 2 CB-MCC-4.2. Karena CB-MCC-4.2 merasakan gangguan dan tidak mendapatkan *blocking signal* maka CB-MCC-4.2 akan mengaktifkan waktu ZSI dan *trip* tanpa *preset time delay* sesuai dengan

waktu *clearing time* micologic full-LE sebesar 0,11s. Sedangkan CB-TR-MCC-4 akan tetap tertutup karena gangguan telah dihilangkan sebelum *time delay* berakhir dalam rentang waktu 0,3s. Plot kurva TCC pada gangguan motor KMPSR2 dapat dilihat pada gambar 4.40.



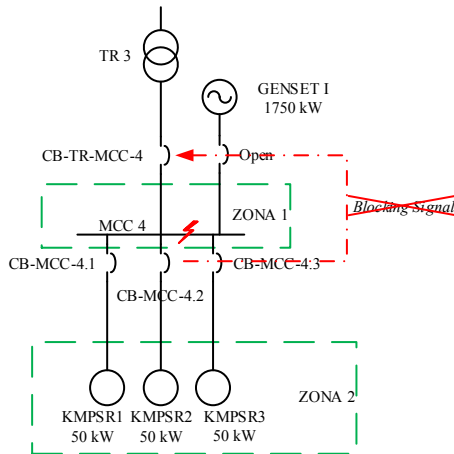
Gambar 4.39 Gangguan Pada Motor KMPSR2



Gambar 4.40 Plot Kurva TCC Gangguan Motor KMPSR2

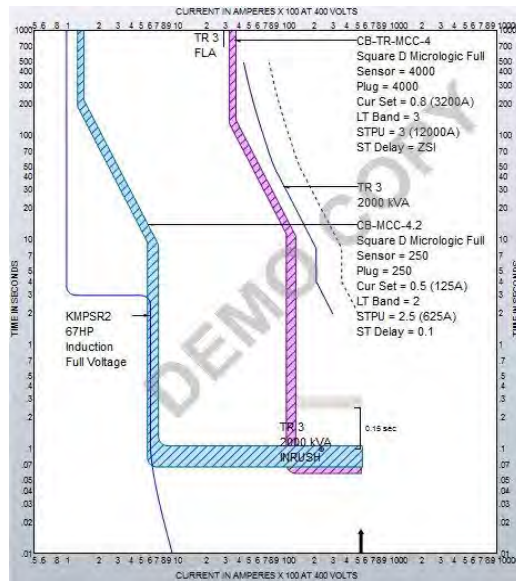
4.9.2 Implementasi *Zone Selective Interlocking* Tipikal 3 Gangguan Pada Bus MCC-4

Gambar 4.41 menunjukkan letak gangguan pada bus MCC-4 dimana ketika ada gangguan, maka CB-TR-MCC-4 tidak mendapatkan *blocking signal* yang menyebabkan aktifnya waktu ZSI dan CB akan *trip* tanpa *preset time delay* sesuai dengan waktu *clearing time* micologic full-SE sebesar 0,1s.



Gambar 4.41 Gangguan Pada Bus MCC-4

Plot kurva TCC pada gangguan bus MCC-4 dapat dilihat pada gambar 4.42, dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa CB-TR-MCC-4 *trip* dengan waktu ZSI, terjadi perubahan kurva pengamanan dengan selisih sebesar 0,15s dari kurva awal sebelum ZSI.



Gambar 4.42 Plot Kurva TCC Gangguan Bus MCC-4

4.9.3 Implementasi Zone Selective Interlocking Tipikal 3 Nilai Insiden Energi Arc Flash

Tabel 4.12 adalah hasil simulasi insiden energi *arc flash* setelah implementasi ZSI.

Tabel 4.12 Simulasi Arc Flash Metode ZSI Tipikal 3

ID	Archiving Current (Ia)	Incident Energi (cal/cm ²)	Protection Boundary (m)	Kategori PPE
Terminal motor KMPSR2	19,7	8,2	1,193	2
MCC 4	17,48	6,1	1,228	1

Perhitungan insiden energi *arc flash* secara manual menggunakan standar IEEE 1584-2002 adalah sebagai berikut;

a. Terminal Motor KMPSR2

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 38,99 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 13 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 38,99) - 0,00304 \times 13 (\lg 38,99)$$

$$\lg I_a = 1,294$$

$$I_a = 19,689 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 - 0,113 + 1,081 \lg 19,689 + 0,0011 \times 13}$$

$$E_n = 5,566$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 5,566 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{457,2^2} \right)$$

$$E = 34,203 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 8,208 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Kategori (NFPA 70E 2015)} = 2$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 5,566 \left(\frac{0,11}{0,2} \right) \left(\frac{610^2}{5} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$D_B = 1195,7876 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,195 \text{ m}$$

b. Bus MCC 4

Menentukan Nilai I_a

$$\lg I_a = K + 0,662 \lg I_{bf} + 0,0966 V + 0,000526 G + 0,5588 V (\lg I_{bf}) - 0,00304 G (\lg I_{bf})$$

$$\lg I_a = -0,097 + 0,662 \times \lg 38,99 + 0,0966 \times 0,4 + 0,000526 \times 25 + 0,5588 \times 0,4 (\lg 38,99) - 0,00304 \times 25 (\lg 38,99)$$

$$\lg I_a = 1,242$$

$$I_a = 17,486 \text{ kA}$$

Menentukan Nilai *Incident Energy Arc Flash*

$$E_n = 10^{K1 + K2 + 1,081 \lg I_a + 0,0011 G}$$

$$E_n = 10^{-0,555 - 0,113 + 1,081 \lg 17,486 + 0,0011 \times 25}$$

$$E_n = 5,044$$

$$E = 4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{D^x} \right)$$

$$E = 4,184 \times 1,5 \times 5,044 \left(\frac{0,1}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{457,2^{1,641}} \right)$$

$$E = 25,409 \text{ J/cm}^2 \times 0,24$$

$$E = 6,098 \text{ cal/cm}^2$$

$$\text{Jarak kerja} = 45,72 \text{ cm}$$

$$\text{Katagori (NFPA 70E 2015)} = 1$$

Menentukan *Flash-Protection Boundary*

$$D_B = \left[4,184 C_f E_n \left(\frac{t}{0,2} \right) \left(\frac{610^x}{E_B} \right) \right]^{\frac{1}{x}}$$

$$D_B = \left[4,184 \times 1,5 \times 5,044 \left(\frac{0,1}{0,2} \right) \left(\frac{610^{1,641}}{5} \right) \right]^{\frac{1}{1,641}}$$

$$D_B = 1231,263 \text{ mm}$$

$$D_B = 1,231$$

4.10 Perbedaan Nilai Insiden Energi Arc Flash Setelah Reseting Dan Sesudah Implementasi Metode ZSI

Nilai insiden energi dapat diturunkan dengan menggunakan metode ZSI. Pengurangan inseiten energi *arc flash* sebesar

1. Bus MCC-6A.1 sebesar 65,77% dari inseiten energi *arc flash* 25,711 cal/cm² menjadi 8,8 cal/cm²
2. Bus MCC-6A sebesar 80,08% dari inseiten energi *arc flash* 40,174 cal/cm² menjadi 8 cal/cm²
3. Bus MCC-29/4.1 sebesar 65,77% dari inseiten energi *arc flash* 17,241 cal/cm² menjadi 5,9 cal/cm²
4. Bus MCC-29/4 sebesar 79,95% dari inseiten energi *arc flash* 26,94 cal/cm² menjadi 5,4 cal/cm²
5. Bus MCC-4 sebesar 68,62% dari inseiten energi *arc flash* 19,44 cal/cm² menjadi 6,1 cal/cm²

Penurunan nilai insemi energi *arc flash* rata-rata diatas 65%, hal ini membuktikan bahwa metode ZSI dapat digunakan untuk mengurangi insemi energi *arc flash*. Detil dari perbandingan kondisi *reseting* dan implementasi ZSI terdapat pada tabel 4.13 sampai dengan tabel 4.15.

Tabel 4.13 *Existing, Reseting Dan Implementasi ZSI MCC-6A*

MCC-6A		<i>Existing</i>	<i>Reseting</i>	ZSI
Terminal motor 2012JA	Arching Current (Ia) kA	20,07	20,07	20,07
	Fault Clearing Time (FCT)	0,02	0,11	0,11
	Working Distance (inch)	18	18	18
	Incident Energi (cal/cm2)	1,968	10,826	10,826
	Protection Boundary (m)	0,585	1,373	1,373
	Kategori PPE	<1	2	2
Terminal motor 3451KA	Arching Current (Ia) kA	20,07	20,07	20,07
	Fault Clearing Time (FCT)	0,02	0,11	0,11
	Working Distance (inch)	18	18	18
	Incident Energi (cal/cm2)	1,968	10,826	10,826
	Protection Boundary (m)	0,585	1,373	1,373
	Kategori PPE	<1	2	2
MCC-6A.1	Arching Current (Ia) kA	17,8	17,8	17,8
	Fault Clearing Time (FCT)	0,02	0,32	0,11
	Working Distance (inch)	18	18	18
	Incident Energi (cal/cm2)	1,607	25,711	8,8
	Protection Boundary (m)	0,546	2,958	1,541
	Kategori PPE	<1	3	2
MCC-6A	Arching Current (Ia) kA	17,8	17,8	17,8
	Fault Clearing Time (FCT)	0,03	0,5	0,1
	Working Distance (inch)	18	18	18
	Incident Energi (cal/cm2)	2,41	40,174	8
	Protection Boundary (m)	0,699	3,883	1,454
	Kategori PPE	<1	4	2

Tabel 4.14 *Existing, Reseting, Dan Implementasi ZSI MCC-29/4*

MCC-29/4		<i>Exisitng</i>	<i>Reseting</i>	<i>ZSI</i>
Terminal motor WTR908	Arching Current (Ia) kA	17,54	17,54	17,54
	Fault Clearing Time (FCT)	0,02	0,11	0,11
	Working Distance (inch)	18	18	18
	Incident Energi (cal/cm2)	1,312	7,214	7,214
	Protection Boundary (m)	0,478	1,121	1,121
	Katagori PPE	<1	1	1
Terminal Motor M-PP12	Arching Current (Ia) kA	17,54	17,54	17,54
	Fault Clearing Time (FCT)	0,02	0,11	0,11
	Working Distance (inch)	18	18	18
	Incident Energi (cal/cm2)	1,312	7,214	7,214
	Protection Boundary (m)	0,478	1,121	1,121
	Katagori PPE	<1	1	1
MCC- 29/4.1	Arching Current (Ia) kA	15,65	15,65	15,647
	Fault Clearing Time (FCT)	0,02	0,32	0,11
	Working Distance (inch)	18	18	18
	Incident Energi (cal/cm2)	1,078	17,241	5,9
	Protection Boundary (m)	0,428	2,319	1,209
	Katagori PPE	<1	2	1
MCC- 29/4	Arching Current (Ia) kA	15,65	15,65	15,647
	Fault Clearing Time (FCT)	0,03	0,5	0,1
	Working Distance (inch)	18	18	18
	Incident Energi (cal/cm2)	1,616	26,94	5,4
	Protection Boundary (m)	0,584	3,044	1,141
	Katagori PPE	<1	3	1

Tabel 4.15 *Existing, Reseting, Dan Implementasi ZSI MCC-4*

MCC-4		<i>Exisitng</i>	<i>Reseting</i>	<i>ZSI</i>
Terminal motor KMPSR2	Arching Current (Ia) kA	19,7	19,7	19,7
	Fault Clearing Time (FCT)	0,02	0,11	0,11
	Working Distance (inch)	18	18	18
	Incident Energi (cal/cm2)	1,487	8,178	8,178
	Protection Boundary (m)	0,509	1,193	1,193
	Katagori PPE	<1	1	1
MCC-4	Arching Current (Ia) kA	17,49	17,49	17,486
	Fault Clearing Time (FCT)	0,03	0,32	0,11
	Working Distance (inch)	18	18	18
	Incident Energi (cal/cm2)	1,822	19,44	6,1
	Protection Boundary (m)	0,59	2,495	1,228
	Katagori PPE	<1	2	1

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SPLN 52-3 : 1983, "*Pola Pengaman Sistem Bagian Tiga, Sistem Distribusi 6 kV dan 20 kV*", Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, Pasal 4, 1983
- [2] NFPA 70E. 2015. "*Standard for Electrical Safty in the Workplace*", Battery Park Quincy. An International Codes and Standards Organization
- [3] IEEE Std. 1584-2002., "*IEEE Guide for Performing Arc Flash Hazard Calculation*", Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc 2002
- [4] Donna Lee Hodgson and David Shipp. *Arc-Flash Incident Energy Reduction Using Zone Selective Interlocking*, IEEE transactions on Industry Applications, Vol. 46, No. 3, May/June 2010
- [5] Christopher G. Walker. *Arc-Flash Energy reduction techniques: Zone-Selective Interlocking and Energy-Reducing Maintenance Switching*, IEEE transactions on Industry, Vol. 49, No. 2, March/April 2013
- [6] Marcelo E. Valdes. *Advances in Protective Device Interlocking for Improved Protection and Selectivity*, IEEE transactions on Industry applications, Vol. 50, No. 3, May/June 2014
- [7] Square D Preferred Methods for Arc-Flash Incident Energy Reduction, "Data Bulletin", Scheider Electric, 2008

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan simulasi dan analisa pada tugas akhir ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu;

1. Pada kondisi *existing* besaran nilai insiden energi *arc flash* relatif kecil, hal ini karena koordinasi proteksi yang ada masih kurang tepat. Sehingga ketika ada gangguan maka beban yang lain akan terkena dampaknya.
2. Setelah dilakukan *reseting* maka didapatkan nilai insiden energi *arc flash* yang tergolong tinggi. Sehingga diperlukan skema untuk mereduksinya.
3. *Zone Selective Interlocking* merupakan metode yang efektif dan efisien untuk mengurangi nilai insiden energi *arc flash* yang murah dibandingkan penggunaan relay differensial.
4. *Zone Selective Interlocking* mampu menjaga kontinuitas pelayanan, karena ZSI mempunyai selektifitas yang baik.
5. Nilai insiden energi *arc flash* dapat turun karena pada metode ZSI rentang waktu *fault clearing time* (FCT) yang semakin kecil yaitu berkisar 0,1s.
6. *Zone Selective Interlocking* mampu menurunkan nilai energi *arc flash* lebih dari 65% seperti data yang ditunjukkan pada tabel 4.13, tabel 4.14, dan tabel 4.15.

5.2 Saran

Berdasar pada pembahasan dan kesimpulan, maka ada beberapa hal yang perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut yaitu;

1. Setelah dilakukan analisa, maka apabila perusahaan melakukan perbaikan sistem kelistrikannya diharapkan perusahaan menerapkan standar NFPA 70E 2015. Karena pada standar baru kategori 0 sudah dihilangkan.
2. Perusahaan dapat mengimplementasikan metode ZSI terhadap bus atau beban-beban yang sangat dibutuhkan kontinuitas pelayanannya merujuk pada efisiensi biaya.

3. Apabila akan menerapkan ZSI, diharapkan untuk mempertimbangkan jarak antar CB. Karena ZSI sangat tergantung dari lokasi gangguan dan komunikasi antar CB (*blocking signal*).

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Toni Susilo. Terlahir di Magetan pada tanggal 22 Juni 1990 sebagai anak kedua dari pasangan Maryoto dan Sutini. Penulis mengawali pendidikannya di SD Yamastho Surabaya, kemudian melanjutkan ke SMPN 35 Surabaya, dan melanjutkan sekolah di SMAN 17 Surabaya. Penulis melanjutkan dan menyelesaikan diploma (D3) pada bidang Teknik Kelistrikan Kapal-Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) tahun 2012. Pada tahun 2013, penulis melanjutkan ke jenjang sarjana (S1) pada bidang Teknik Sistem Tenaga Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Jika

ada keperluan bisa menghubungi di email: tonisusilo.ts@gmail.com

